



(11)

EP 3 288 712 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

11.10.2023 Patentblatt 2023/41

(21) Anmeldenummer: **16724583.6**

(22) Anmeldetag: **25.04.2016**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

B24B 21/12 (2006.01) B24B 21/16 (2006.01)

B24B 21/20 (2006.01) B24B 27/00 (2006.01)

B24B 47/12 (2006.01) B24B 49/08 (2006.01)

B24B 49/16 (2006.01) B24B 41/00 (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

B24B 21/12; B24B 21/16; B24B 21/20;

B24B 27/0069; B24B 41/005; B24B 47/12;

B24B 49/08; B24B 49/16

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/AT2016/050111

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 2016/172751 (03.11.2016 Gazette 2016/44)

(54) VORRICHTUNG ZUR OBERFLÄCHENBEARBEITUNG

DEVICE FOR MACHINING SURFACES

DISPOSITIF SERVANT À L'USINAGE DE SURFACE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(30) Priorität: **27.04.2015 DE 102015106480**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

07.03.2018 Patentblatt 2018/10

(73) Patentinhaber: **FerRobotics Compliant Robot
Technology GmbH
4040 Linz (AT)**

(72) Erfinder: **NADERER, Ronald
4181 Oberneukirchen (AT)**

(74) Vertreter: **Westphal, Mussgnug & Partner,
Patentanwälte mbB
Werinherstraße 79
81541 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 0 477 737 EP-A1- 0 705 663
EP-A1- 2 974 827 DE-A1- 10 013 340
DE-A1- 19 825 698 JP-A- 2002 301 659
JP-A- 2009 016 759**

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 eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung**TECHNISCHES GEBIET**

5 [0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur automatisierten spanenden oder glättenden Bearbeitung von Oberflächen von Werkstücken, beispielsweise zum Schleifen von Werkstückoberflächen.

HINTERGRUND

10 [0002] Die Endbearbeitung von Oberflächen in der Kleinserienproduktion wird in den meisten Fällen noch von Hand ausgeführt. Dies nimmt viel Zeit in Anspruch und muss von einem erfahrenen Facharbeiter durchgeführt werden. Dieser Arbeitsschritt ist umso aufwändiger, je hochwertiger die endgültige Oberfläche sein muss. Als Beispiel kann die Oberfläche einer PKW-Motorhaube angeführt werden, bei der die Anforderungen an die Qualität der Oberfläche verhältnismäßig hoch sind. Zur Herstellung einer derartigen Oberflächenqualität gibt es für die Kleinserie neben der Handarbeit
 15 mit einer (Hand-) Schleifmaschine keine adäquate Lösung. Die Schleifergebnisse von bekannten Schleifautomaten sind häufig mangelhaft oder benötigen lange Einstellzeiten oder Ein- und Auslaufbereiche, um zu vermeiden, dass Unregelmäßigkeiten im Schliffbild auf der endgültigen Oberfläche zu sehen sind. Diese Unregelmäßigkeiten entstehen aufgrund von Schwingungen im Schleifband oder einer zu tragen Regelung der Kontaktkraft. Die Kontaktkraft ist die Kraft, mit der das Schleifband auf die Werkstückoberfläche einwirkt. In der Publikation JP S63-089263 ist eine Vorrichtung beschrieben, die die Kontaktkraft durch eine geeignete Lagerung regelt. Durch die hohe träge Masse der Schleifmaschine kommt es aber - aufgrund der Massenträgheit - unweigerlich zu den oben genannten Erscheinungen. Aus DE 198 25 698 A1 ist eine Bandschleifmaschine bekannt, die eine Kontaktscheibe sowie mehrere Umlenkrollen aufweist, um die ein Schleifband geführt ist. Die Kontaktscheibe ist an einer Halterung drehbar gelagert, die mittels eines Linearantriebs bewegbar ist, und kann das Band derart spannen, dass ein Schleifen eines Werkstücks unter unterschiedlichen Winkeln möglich ist. JP 2009 016759 A offenbart eine Vorrichtung zum Schleifen eines Halbleiterwafers, mit drei festen Umlenkrollen, um die ein Band 31 geführt wird, sowie zwei Spannrollen, die durch einen Führungsteil verschoben werden können, um das Band zu kontaktieren und zu spannen. JP 2002 301659 A und EP 0 477 737 A1 offenbaren jeweils eine Bandschleifmaschine, wobei bei Bearbeitung eines Werkstücks die gesamte Maschine sich bewegt. DE 100 13 340 A1 , auf welcher jeweils der Oberbegriff der Ansprüche 1 und 11 basiert, offenbart eine Bandschleifmaschine mit einer Anordnung zumindest aus einer gelagerten Antriebsrolle bzw. Umlenkrolle, einer verstellbaren Spannrolle mit einem die Spannrolle belastenden Kraftelement, einem in zumindest einer Richtung verschiebbaren Kontaktellement mit einem das Kontaktellement in dieser Richtung relativ zu einem Werkstück belastenden Andruckelement sowie einem um das Kontaktellement, die Antriebsrolle bzw. Umlenkrolle und die Spannrolle geführten Schleifband. Das Kontaktellement und das Kraftelement der Spannrolle sind derart funktional miteinander gekoppelt, dass das Kraftelement abhängig von als Führungsgröße dienenden jeweiligen Lageänderungen des Kontaktelmentes die Lage der Spannrolle derart ändert, dass sich unabhängig von den jeweiligen Lageänderungen des Kontaktelmentes eine vorgebbare Andruckkraft zwischen dem Kontaktellement und dem Werkstück einstellt.
 20 [0003] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe besteht somit darin, eine Vorrichtung bereitzustellen, welche es ermöglicht, dass aufwendige Schleif- oder Polituraufgaben teil- oder vollautomatisiert mit verbesserter Qualität ausgeführt
 25 können.

ZUSAMMENFASSUNG

30 [0004] Die genannte Aufgabe kann beispielsweise durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder durch ein Verfahren
 35 gemäß Anspruch 8 sowie durch ein System gemäß Anspruch 11 gelöst werden. Unterschiedliche Ausführungsbeispiele und Weiterentwicklungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

40 [0005] Es wird im Folgenden eine Vorrichtung zur Bearbeitung einer Oberfläche eines Werkstücks beschrieben. Gemäß einem Ausführungsbeispiel umfasst die Vorrichtung einen Rahmen und einen Rollenträger, an dem eine erste Rolle drehbar gelagert ist und der an dem Rahmen entlang einer ersten Richtung verschiebbar gelagert ist. Die Vorrichtung umfasst zumindest eine zweite Rolle, welche an dem Rahmen gelagert ist, sowie ein Band, das zumindest um die beiden Rollen geführt ist, und aufgrund dessen Spannung eine resultierende Bandkraft auf den Rollenträger wirkt, wobei die erste Rolle nur als Umlenkrolle dient. Die Vorrichtung umfasst weiter eine Spannrolle zum Einstellen einer Vorspannkraft im Band. Die Vorrichtung umfasst des Weiteren einen Aktor, der mechanisch mit dem Rahmen und dem Rollenträger derart gekoppelt ist, dass eine einstellbare Aktorkraft zwischen dem Rahmen und der ersten Rolle entlang der ersten Richtung wirkt. Das Band ist dabei mit Hilfe der zweiten Rolle - oder mit Hilfe der zweiten Rolle und weiterer Rollen - so geführt, dass die auf den Rollenträger wirkende resultierende Bandkraft bei einer Soll-Auslenkung des Aktors annähernd in einer zweiten Richtung wirkt, die orthogonal zur ersten Richtung ist. Der Aktor arbeitet rein kraftgeregt.
 45 [0006] Des Weiteren wird ein Verfahren zur Oberflächenbearbeitung eines Werkstückes beschrieben. Gemäß einem

Ausführungsbeispiel des Verfahrens wird dazu eine Vorrichtung verwendet, die einen Rahmen, einen Rollenträger, an dem eine erste Rolle drehbar gelagert ist und der an dem Rahmen entlang einer ersten Richtung verschiebbar gelagert ist, einen Aktor, der mechanisch mit dem Rahmen und dem Rollenträger gekoppelt ist, eine zweite Rolle, welche an dem Rahmen gelagert ist, sowie ein Band, das um die erste und die zweite Rolle geführt ist und das eine resultierende

5 Bandkraft auf den Rollenträger ausübt, aufweist, wobei die erste Rolle nur als Umlenkrolle dient. Die Vorrichtung umfasst weiter eine Spannrolle zum Einstellen einer Vorspannkraft im Band. Das Verfahren umfasst dabei das Positionieren des Werkstücks an der ersten Rolle, das Messen einer Kontaktkraft zwischen der ersten Rolle und dem Werkstück, und das Einstellen einer Kontaktkraft zwischen der ersten Rolle und dem Werkstück, indem eine zwischen Rahmen und Aktor wirkende Kraft eingestellt wird. Beim Positionieren des Werkstücks wird dieses relativ zur Vorrichtung derart positioniert,

10 dass die Auslenkung des Aktors seiner Soll-Auslenkung entspricht. Bei der Soll-Auslenkung wirkt die auf den Rollenträger wirkende resultierende Bandkraft annähernd in einer zweiten Richtung, die orthogonal zur ersten Richtung ist. Die Rückwirkung der Bandkraft auf den Aktor kann somit theoretisch auf Null reduziert werden. Der Aktor arbeitet rein kraftgeregelt.

[0007] Des Weiteren wird ein System zur robotergestützten Oberflächenbearbeitung von Werkstücken beschrieben.

15 Gemäß einem Ausführungsbeispiel umfasst das System eine Bearbeitungsvorrichtung sowie einen Manipulator zur Positionierung des Werkstücks relativ zu der Bearbeitungsvorrichtung. Diese weist einen Rahmen auf sowie einen Rollenträger, an dem eine erste Rolle drehbar gelagert ist und der an dem Rahmen entlang einer ersten Richtung verschiebbar gelagert ist. Die Bearbeitungsvorrichtung umfasst zumindest eine zweite Rolle, welche an dem Rahmen gelagert ist, sowie ein Band, das zumindest um die beiden Rollen geführt ist, und aufgrund dessen Spannung eine resultierende Bandkraft auf den Rollenträger wirkt, wobei die erste Rolle nur als Umlenkrolle dient. Das System umfasst weiter eine Spannrolle zum Einstellen einer Vorspannkraft im Band. Die Bearbeitungsvorrichtung umfasst des Weiteren einen Aktor, der mechanisch mit dem Rahmen und dem Rollenträger derart gekoppelt ist, dass eine einstellbare Aktorkraft zwischen dem Rahmen und der ersten Rolle entlang der ersten Richtung wirkt. Das Band ist dabei mit Hilfe der zweiten Rolle - oder mit Hilfe der zweiten Rolle und weiterer Rollen - so geführt, dass die auf den Rollenträger wirkende resultierende Bandkraft bei einer Soll-Auslenkung des Aktors annähernd in einer zweiten Richtung wirkt, die orthogonal zur ersten Richtung ist. Der Aktor arbeitet rein kraftgeregelt und eine Position des Werkstücks relativ zu der Bearbeitungsvorrichtung wird lediglich durch den Manipulator bestimmt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ABBILDUNGEN

30 [0008] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von den in den Abbildungen dargestellten Beispielen näher erläutert. Die Darstellungen sind nicht zwangsläufig maßstabsgetreu und die Erfindung beschränkt sich nicht nur auf die dargestellten Aspekte. Vielmehr wird Wert darauf gelegt, die der Erfindung zugrunde liegenden Prinzipien darzustellen. In den Abbildungen zeigt:

35 Figur 1 zeigt eine Bandschleifvorrichtung gemäß einem nicht durch die Ansprüche abgedeckten Beispiel, bei der die Kontaktkraft zwischen Werkstück und Schleifband mit Hilfe eines Manipulators erzeugt wird.

40 Figur 2 zeigt eine Bandschleifvorrichtung gemäß einem nicht durch die Ansprüche abgedeckten Beispiel mit nachgiebiger Lagerung einer ersten Rolle der Bandschleifvorrichtung.

Figur 3 zeigt eine Bandschleifvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem die erste Rolle um einen Rollensatz ergänzt worden ist.

45 Figur 4 zeigt ein Detail der Vorrichtung aus Fig. 3 zur besseren Darstellung der auf die Rollen wirkenden Kräfte im Arbeitspunkt (Fig. 4a und 4c) und außerhalb des Arbeitspunktes (Fig. 4b).

50 Figur 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel, bei dem die resultierende Zugkraft im Schleifband und die Kontaktkraft zwischen Werkstück und Schleifvorrichtung annähernd orthogonal zueinander sind.

Figur 6a zeigt ein Detail der Vorrichtung aus Fig. 5 zur besseren Darstellung der auf die Rollen wirkenden Kräfte und Figur 6b zeigt eine Alternative zu Fig. 6a.

55 Figur 7 zeigt ein weiteres Beispiel, das nicht durch die Ansprüche abgedeckt ist, als Alternative zum Beispiel aus Fig. 3.

Figur 8 zeigt eine Variante, bei der nicht das Werkstück, sondern die Schleifvorrichtung von einem Manipulator geführt sind.

Figur 9 zeigt ein alternatives Beispiel, das nicht durch die Ansprüche abgedeckt ist, zur Entkopplung von Bandkräften und Aktorkraft.

5 Figur 10 zeigt ein Blockschaltbild betreffend die Regelung der Kontaktkraft in einer Vorrichtung gemäß den dargestellten Ausführungsbeispielen.

[0009] In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder ähnliche Komponenten mit jeweils gleicher oder ähnlicher Bedeutung.

10 DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0010] Die hier beschriebenen Beispiele der Erfindung werden im Zusammenhang mit einer Bandschleifvorrichtung 100 beschrieben. Andere Anwendungen der Erfindung, zum Beispiel zur Oberflächenbeschichtung oder zum Polieren von Oberflächen sind ebenfalls möglich.

15 **[0011]** Die Endbearbeitung von technisch und optisch hochwertigen Oberflächen erfordert sehr hohe Genauigkeiten in der Fertigung. Die Einhaltung der geforderten Genauigkeit wird dadurch erschwert, dass sich der Zustand der Werkstückoberfläche 200a über den Bearbeitungszeitraum ändert. Deshalb ist die Endbearbeitung der Oberflächen in vielen Bereichen, insbesondere bei Kleinserien überwiegend Handarbeit. Ein Beispiel für eine an sich bekannte Schleifvorrichtung 100 ist in Figur 1 dargestellt. Die Schleifvorrichtung 100 ist stationär und verfügt über ein umlaufendes Schleifband 102, welches über mindestens zwei Rollen 101, 103 geführt wird. Im vorliegenden Beispiel wird davon ausgegangen, dass das Band im Uhrzeigersinn umläuft. Das Schleifband 102 wird durch ein Spannelement 105 (Spannrolle) gespannt, welches durch eine geeignete Lagerung 130 linear verschiebbar gelagert ist (z.B. mittels eines Gleitlagers). Die Komponenten (Rollen 101 und 103, Spannelement 105) sind mit Hilfe von einem oder mehreren Trägern 401, 402, 403 mit einem Rahmen 160 (z.B. ein Maschinenbett oder ein Gehäuseteil) verbunden.

20 **[0012]** Zur Bearbeitung wird die zu bearbeitende Oberfläche 200a eines Werkstücks 200 bei laufendem Schleifband 102 im Bereich der ersten Rolle 101 gegen das Schleifband 102 gedrückt. Die dazu nötige Kontaktkraft F_K (Schleifkraft) kann z.B. manuell oder mit Hilfe eines Manipulators 150, welcher das Werkstück hält, eingestellt werden. Der Manipulator 150 kann z.B. ein Standard-Industrieroboter (mit sechs Freiheitsgraden) sein. Alternativ kann jedoch auch eine andere manuell oder maschinell betätigte Einspann- und/ oder Anpressvorrichtung als Manipulator verwendet werden. Durch die Kontaktkraft F_K entsteht Reibung zwischen der Werkstückoberfläche 200a und dem Schleifband 102 und es kommt zum Materialabtrag. Wesentliche Einflussfaktoren für das Bearbeitungsergebnis sind die Kontaktkraft F_K pro Fläche (Auflagefläche, an der sich Schleifband 102 und die Oberfläche des Werkstücks 200a berühren), im weiteren Verlauf auch als Anpressdruck bezeichnet, sowie die Umlaufgeschwindigkeit des Schleifbandes 102. Da sich die Auflagefläche zwischen Werkstück und Schleifband 102 in der Regel während eines Schleifvorgangs nicht wesentlich ändert, sind Anpressdruck und Kontaktkraft F_K de facto proportional. Im Bereich von Ecken und Kanten kann aufgrund der geringeren Auflagefläche die Kontaktkraft (d.h. deren Sollwertvorgabe) entsprechend reduziert werden.

25 **[0013]** Für ein gleichmäßiges Schleifergebnis ist eine korrekte Einstellung (d.h. eine Regelung) der Kontaktkraft F_K während des gesamten Bearbeitungsvorganges wünschenswert. Eine Kraftregelung durch den im Allgemeinen "starren" Manipulator erweist sich bei bekannten automatisierten Schleifvorrichtungen vor allem beim Aufsetzen des Werkstücks 200 auf das Schleifband als schwierig. Ganz allgemein sind transiente Störungen (Kraftspitzen) in der Kontaktkraft F_K mit herkömmlichen Mitteln durch Regelung nur sehr schwer zu kompensieren. Dies ist in der Regel eine Folge der Trägheit der beweglichen Teile des Manipulators 150 und von Einschränkungen bei den Aktoren (minimale Totzeit, maximale Kraft bzw. Drehmoment, etc). Eine unzureichende Kraftregelung hat inhomogene Schliffbilder mit Rattermarken als Folge. Rattermarken sind Oberflächenunebenheiten, die durch eine unzureichende Regelung der Kontaktkraft F_K entstehen. In Bereichen, in denen (temporär) eine höhere Kontaktkraft F_K wirkt, entstehen durch den höheren Materialabtrag Vertiefungen in der Werkstückoberfläche 200a. An den Stellen, an denen temporär eine geringere Kontaktkraft F_K vorherrscht wird weniger Material abgetragen und es bleiben Erhöhungen zurück. Durch einen erfahrenen Facharbeiter können diese Ungenauigkeiten beim Schleifen von Hand ausgeglichen werden. Beim automatisierten Anpressen der Werkstückoberfläche 200a an das Schleifband 102, speziell mit Hilfe eines Manipulators 150, können diese Ungenauigkeiten nicht ohne weiteres ausgeglichen werden. Durch die hohe Trägheit des Manipulators 150 ist die schnelle Anpassung an die jeweils vorherrschende Schleifsituation mit großen zeitlichen Verzögerungen verbunden. Außerdem kann der Manipulator 150 in unterschiedlichem Maße um seine vordefinierte Sollposition schwingen, was zu einem ungleichmäßigen Schliffbild führen kann.

30 **[0014]** Statt das Werkstück 200 mit Hilfe eines Manipulators zu bewegen, ist es auch möglich, das Werkstück 200 einzuspannen und die Schleifmaschine beweglich zu lagern. In diesem Fall wäre der Aktor, mit dem die Schleifkraft geregelt wird, mit der Schleifmaschine gekoppelt, sodass die Schleifmaschine gegen das (stationäre) Werkstück drückt. Auch in diesem Fall besteht das Problem, dass die Masse der Schleifmaschine und damit deren Trägheit verhältnismäßig groß ist und folglich das gleiche Problem besteht wie bei der oben beschriebenen Variante.

[0015] In dem in Fig. 2 dargestellten Beispiel, welches nicht durch die Ansprüche abgedeckt ist, wird das Werkstück 200 von einem Manipulator 150 gehalten und positioniert. Der Manipulator 150 benötigt jedoch nur eine einfache Positionsregelung, die Kontaktkraftregelung ist - wie weiter unten beschrieben - in der Schleifmaschine 100 implementiert. Es können daher verhältnismäßig günstige Manipulatoren (z.B. Industrieroboter) eingesetzt werden, die das Werkstück an einer gewünschten Position halten und entlang einer gewünschten Trajektorie bewegen können. Insbesondere sind keine teuren Kraft- oder Drehmomentensensoren in den Gelenken des Manipulators nötig. Der für die Kraftregelung verwendete Aktor 302 kann im vorliegenden Beispiel ein einfacher Linearaktor sein, beispielsweise ein Aktor mit geringer Haftreibung sowie mit passiver Nachgiebigkeit. In Frage kommen z.B. Pneumatikzylinder, Luftpumpe, Balgzyliner, sowie elektrische Direktantriebe (ohne Getriebe). Im vorliegenden Beispiel wird als Aktor 302 ein Pneumatik-Zylinder verwendet.

[0016] Der Aktor 302 wirkt nicht auf die Schleifmaschine 100 als Ganzes, sondern nur auf jene Rolle der Schleifmaschine 100, die im Betrieb gegen das Werkstück drückt (d.h. auf die Rolle 101). Die Rolle 101 ist (über den Rollenträger 401) linear verschiebbar (Linearführung 140) an dem Rahmen 160 gelagert. Der Aktor 302 wirkt zwischen Rollenträger 401 und Rahmen 160. Im vorliegenden Beispiel ist der Aktor an dem Rollenträger 401 und an einem weiteren Träger 404 gelagert, welcher starr mit dem Rahmen 160 verbunden ist. Entsprechend der Ansteuerung des Aktors 302, wird auf die Rolle 101 eine Aktorkraft F_A , die entlang der Bewegungsrichtung (x-Richtung) der Linearführung 140 wirkt, ausgeübt. Durch die vergleichsweise geringe Masse der ersten Rolle 101 (und des Rollenträgers 401) treten am Aktor 302 nur geringe Massenträgheitskräfte auf.

[0017] Im Übrigen ist die Schleifvorrichtung gemäß Fig. 2 gleich aufgebaut wie die Schleifvorrichtung im vorigen Beispiel gemäß Fig. 1. Die zweite Rolle 103 ist über den (Rollen-) Träger 403 an dem Rahmen 160 unverschiebbar gelagert. In diesem Zusammenhang bedeutet unverschiebbar nicht, dass die Position der Rolle 103, z.B. zum Einstellen einer geeigneten Spannung im Schleifband, nicht veränderbar ist. Während des Betriebs der Vorrichtung (also z.B. während eines Schleifprozesses) ändert sich die Position der Rolle 103 jedoch nicht. Die Rolle 103 ist angetrieben (Motor 104), wohingegen die Rolle 101 nur als Umlenkrolle dient. Das Schleifband 102 ist um beide Rollen 101 und 103 geführt. Wie in dem Beispiel aus Fig. 1 kann eine Spannvorrichtung zum Einstellen einer Vorspannung des Schleifbandes vorgesehen sein. Die Spannvorrichtung kann z.B. eine oder mehrere Spannrollen 105 aufweisen, die an dem Band 102 anliegen und die annähernd im rechten Winkel zum Schleifband 102 verschoben werden können, um das Schleifband 102 zu spannen. Im vorliegenden Beispiel sind die Spannrollen 105 mit Hilfe einer Linearführung 130 an dem Rollenträger 402 gelagert, der wiederum starr mit dem Rahmen 160 verbunden ist. Die Vorspannung kann z.B. mit Hilfe einer Feder erzeugt werden, welche zwischen dem Rollenträger 402 und der Spannrolle (bzw. den Spannrollen) 105 wirkt.

[0018] Die in dem Schleifband 102 wirkenden Kräfte sind in Fig. 2 als Bandkräfte F_{B1} (Kraft im oberen Teil 102a des Bandes 102) und F_{B2} (Kraft im unteren Teil 102b des Bandes 102) eingezeichnet, wobei beide Kräfte F_{B1} und F_{B2} jeweils eine Kraftkomponente in x-Richtung ($F_{B1,x}$ bzw. $F_{B2,x}$) und eine Kraftkomponente in y-Richtung aufweisen ($F_{B1,y}$ bzw. $F_{B2,y}$). Die auf die Rolle 101 wirkende resultierende Bandkraft F_B in y-Richtung (d.h. $F_B = F_{B1,y} + F_{B2,y}$) wird von der Linearführung 140 und der Spannvorrichtung aufgenommen. Die auf die Rolle 101 wirkende resultierende Bandkraft $F_{B,x}$ in x-Richtung (d.h. $F_{B,x} = F_{B1,x} + F_{B2,x}$) wirkt jedoch auch auf den Aktor 302 und damit gegen die Aktorkraft F_A . Für die Kontaktkraft F_K gilt im stationären Fall

$$F_K = F_A + F_{B,x}. \quad (1)$$

Das bedeutet, dass die resultierende Bandkraft $F_{B,x}$ bei der Regelung der Kontaktkraft F_K berücksichtigt werden muss. Die Bandkraft $F_{B,x}$ muss dazu bekannt sein. Diese kann dazu entweder gemessen werden (z.B. mittels eines Kraftsensors in der Spannvorrichtung und des Antriebsmoments des Motors) oder mit Hilfe eines mathematischen Modells abgeschätzt werden. Durch geeignete Umlenkung des Schleifbandes kann jedoch der Einfluss der Bandkräfte F_{B1} , F_{B2} auf die Kontaktkraft F_K reduziert (im Idealfall eliminiert) werden. In anderen Worten, Aktorkraft F_A und die resultierende Bandkraft $F_{B,x}$ in Wirkrichtung (x-Richtung) des Aktors 302 werden entkoppelt. Ein Beispiel für eine geeignete Umlenkung des Schleifbandes 102 ist in Fig. 3 dargestellt.

[0019] Das in Fig. 3 gezeigte Beispiel entspricht im Wesentlichen dem vorigen Beispiel aus Fig. 2, wobei auf dem Rollenträger 401 neben der Umlenkrolle 101 noch zwei weitere Umlenkrollen 101a und 101b angeordnet sind. Des Weiteren sind noch zwei weitere Umlenkrollen 121a, 121b vorgesehen, welche unverschiebbar an dem Rahmen 160 gelagert sind. Der Rollenträger 401 mit den Rollen 101, 101a und 101b ist wie im vorigen Beispiel mittels der Linearführung 140 an dem Rahmen 160 gelagert, wobei die Linearführung eine Verschiebung des Rollenträgers 401 in horizontaler Richtung (x-Richtung) ermöglicht und andere Freiheitsgrade sperrt. Die Umlenkrollen 101a und 101b sowie die Umlenkrollen 121a und 121b sind so angeordnet, dass - bei einer Nenn-Auslenkung x_0 (Soll-Auslenkung) des Aktors 302 - die auf den Rollenträger 401 wirkende resultierende Bandkraft F'_B zur Aktorkraft F_A (zumindest annähernd) im rechten Winkel steht. Anders ausgedrückt, die x-Komponente $F'_{B,x}$ der resultierenden Bandkraft F'_B ist annähernd null, wobei die Linearführung 140 eine Kraftübertragung vom Aktor 302 auf den Rollenträger 401 nur in x-Richtung zulässt. Wie im

vorherigen Beispiel ist die resultierende Bandkraft F_B' gleich der Summe der Bandkraft F_{B1}' im oberen Teil 102a des Bandes 102 und der Bandkraft F_{B2}' im unteren Teil 102b des Bandes 102 ($F_B' = F_{B1}' + F_{B2}'$). Sofern die Auslenkung x des Aktor 302 der Nenn-Auslenkung x_0 entspricht, wird dies als Arbeitspunkt $x=x_0$ bezeichnet.

[0020] Figur 4 zeigt die auf einen Rollenträger 401 (z.B. aus Fig. 3) wirkenden Kräfte im Detail. Fig. 4a zeigt eine Auslenkung $x=x_0$ des Aktors an einem Arbeitspunkt. Fig. 4c ist eine Variante von Fig. 4a, in der die Aktorkraft F_A genau im Zentrum des Rollenträgers 401 angreift, sodass im Arbeitspunkt alle Kräfte aufheben und kein Drehmoment auf den Rollenträger 4 wirkt. Bei einer Auslenkung $x \neq x_0$ des Aktors ist die x -Komponente $F_{B,x}'$ der Bandkraft F_B' zwar nicht mehr null, sondern beträgt $F_{B,x}' = F_B' \cdot \sin(\varphi)$, wobei φ die Winkelabweichung des Kraftvektors F_B' von der y -Richtung bezeichnet. Das heißt, bei einer Winkelabweichung von 3 Grad würden rund 5% der resultierenden Bandkraft F_B' in x -Richtung und somit auf den Aktor 302 als Störkraft zurückwirken. Bei der Auslegung der Schleifmaschine kann diese so konstruiert werden, dass die Winkelabweichung φ im Betrieb so klein bleibt, dass diese Störkraft vernachlässigbar bleibt. In diesem Zusammenhang sei noch angemerkt, dass (nur) die vom Aktor 302 ausgeübte Kraft F_A (und damit die Kontaktkraft F_K) geregelt wird. Die tatsächliche Auslenkung x des Aktors 302 hängt im Schleibbetrieb von der Position des Werkstücks 200 ab, die wiederum von dem Manipulator 150 eingestellt wird. Der Manipulator ist jedoch positionsgeregt und kann das Werkstück so positionieren, dass die Aktorauslenkung x dem gewünschten Arbeitspunkt x_0 entspricht, an dem die Winkelabweichung φ null ist.

[0021] In Fig. 4a und Fig. 4b sind die relevanten Kräfte auf die am Rollenträger 401 gelagerten Rollen 101, 101a, 101b, noch einmal im Detail dargestellt. Der Übersichtlichkeit halber sind nur die in x -Richtung verschiebbar gelagerten Rollen 101, 101a und 101b sowie das Schleifband 102 und das Werkstück 200 dargestellt. Die Lage der Drehachsen der Rollen 101, 101a und 101b relativ zueinander ist fest vorgegeben und verändert sich während des Betriebs nicht. Auf die Rollen wirkt in x -Richtung die Aktorkraft F_A sowie die Kontaktkraft F_K (Aktor- und Kontaktkräfte in andere Richtungen würden von der Linearführung 140 aufgenommen). In Fig. 4a entspricht die Aktorauslenkung x gleich dem Arbeitspunkt x_0 und folglich sind die auf die Rollen 101a bzw. 101b wirkenden Bandkräfte F_{B1}' und F_{B2}' in vertikaler Richtung orientiert und haben keine Komponente in horizontaler Richtung (x -Richtung). Folglich sind Aktorkraft F_A und die resultierende Bandkraft $F_B' = F_{B1}' + F_{B2}'$ entkoppelt. Das heißt, die Bandkräfte F_{B1}' und F_{B2}' wirken nicht auf den Aktor 302 zurück. In Fig. 4b ist eine Situation gezeigt, in dem das Werkstück aus dem Arbeitspunkt heraus verschoben ist, d.h. die Aktorauslenkung ist ungleich x_0 und folglich sind die auf die Rollen 101a bzw. 101b wirkenden Bandkräfte F_{B1}' und F_{B2}' nicht mehr (ausschließlich) in vertikaler Richtung orientiert, sondern um einen Winkel φ gegenüber der y -Richtung verkippt. Dies hat - wie schon erwähnt - zur Folge, dass die resultierende Bandkraft F_B' eine Komponente in x -Richtung aufweist, d.h. $F_{B,x}' = |F_B'| \cdot \sin(\varphi)$. Diese Kraftkomponente $F_{B,x}'$ wirkt auf den Aktor zurück und wird durch die Kraftregelung entweder kompensiert oder es entsteht ein Regelfehler in Höhe der Bandkraftkomponente $F_{B,x}'$. Sofern das Werkstück von einem Manipulator 150 geführt und positioniert wird, kann sichergestellt werden, dass sich das Werkstück immer im Arbeitspunkt befindet und folglich die Aktorkraft F_A und die auf die Rolle 101 wirkenden Bandkräfte F_{B1}', F_{B2}' entkoppelt sind. An dieser Stelle sei noch einmal erwähnt, dass der Aktor 302 lediglich auf den Rollenträger 401 wirkt, der die Umlenkrollen 101, 101a, 101b trägt, und nicht auf die gesamte Schleifvorrichtung. In der Variante in Fig. 4c, greift die Aktorkraft genau im Mittelpunkt C an, sodass sich die Spannkräfte F_{B1}', F_{B2}' und die Reibkraft F_R sich gegenseitig aufheben. In gleicher Weise heben Kontaktkraft F_K und Aktorkraft F_A einander auf. Dadurch, dass der "Hebel" zwischen dem Angriffspunkt der jeweiligen Kraft F_{B1}', F_{B2}' und F_R und dem Zentrum C immer gleich ist, wirken keine Drehmomente (die Summe aller Momente ist Null). Auf dem Aktor wirkt dann keine - möglicherweise störende - Momentenbelastung.

[0022] Fig. 5 zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel der Schleifvorrichtung 100, welche ebenfalls geeignet ist, die Aktorkraft F_A und die Bandkräfte F_{B1}, F_{B2} zu entkoppeln. Im Wesentlichen ist die Schleifvorrichtung 100 gleich aufgebaut wie die im vorigen Beispiel gemäß Fig. 4. Die Linearführung 140 des Rollenträgers 401 sowie der Aktor 302 sind jedoch im Vergleich zum Beispiel gemäß Fig. 4 um 90 Grad gedreht. Der Rahmen 160 umfasst zu diesem Zweck einen Ausleger 402 an dem der Rollenträger 401 (mit Hilfe der Linearführung 140) gelagert ist. Der Aktor 302 wirkt in vertikaler Richtung (x -Richtung) zwischen dem Ausleger 402 des Rahmens 160 und dem Rollenträger 401. Das Koordinatensystem ist gegenüber dem vorigen Beispiel ebenfalls um 90 Grad gedreht, sodass die Wirkrichtung des Aktors 302 wie im vorigen Beispiel die x -Richtung ist. Zusätzliche Umlenkrollen sind in diesem Ausführungsbeispiel nicht unbedingt nötig. Das Schleifband 102 ist lediglich um die Umlenkrolle 101 und die (durch den Motor 104 angetriebene) Rolle 103 geführt. Wie in den bisherigen Beispielen sorgt eine Spannvorrichtung mit einer Spannrolle 105 für die nötige Vorspannung des Schleifbandes 102.

[0023] Die an der verschiebbar gelagerten Umlenkrolle wirkenden Bandkräfte sind mit F_{B1} (Kraft im oberen Bandteil) und F_{B2} (Kraft im unteren Bandteil) bezeichnet. Die Kraftkomponenten $F_{B1,x}$ und $F_{B2,x}$ in x -Richtung kompensieren einander zumindest teilweise ($F_{B1,x} > 0$ und $F_{B2,x} < 0$), sodass die resultierende Kraftkomponente in x -Richtung $F_{B1,x} + F_{B2,x}$ vernachlässigbar klein ist. Bei geeigneter Auslegung der Schleifvorrichtung ist die resultierende Kraft $F_{B1,x} + F_{B2,x}$ gleich null und es gibt keine Rückwirkung der Bandkräfte F_{B1} und F_{B2} auf den Aktor 302. Fig. 6a entspricht der Situation in Fig. 5, bei der das Schleifband (gegenüber der y -Achse) in einem Winkel φ_2 zur und in einem Winkel φ_1 von der Umlenkrolle 101 läuft (Umlaufrichtung im Uhrzeigersinn). Die Kraftkomponente in x -Richtung der oberen

Bandkraft F_{B1} ist demnach $|F_{B1}|\cdot\sin(\varphi_1)$, und die Kraftkomponente in x-Richtung der unteren Bandkraft F_{B2} ist gleich $-|F_{B2}|\cdot\sin(\varphi_2)$. Bei geeigneter Auslegung der Schleifvorrichtung verschwindet die resultierende Bandkraft in x-Richtung $|F_{B1}|\cdot\sin(\varphi_1)-|F_{B2}|\cdot\sin(\varphi_2)$ und es gibt keine Rückwirkung auf den Aktor 302 (z.B. weil $\varphi_1=\varphi_2$ und $|F_{B1}|=|F_{B2}|$). In dem modifizierten Beispiel aus Fig. 6b sorgen zwei fest an dem Rahmen 160 gelagerte Umlenkrollen 121a und 121b dafür,

5 dass die Winkel φ_1 und φ_2 gleich null sind, das Band also horizontal zur Rolle 101 hin und weg läuft. Folglich sind in diesem Fall die resultierenden Bandkräfte in x-Richtung null, sofern sich das Werksrück und damit der Aktor 302 im Arbeitspunkt ($x=x_0$) befindet. Dieser wird jedoch - wie bereits mit Bezug auf das vorige Beispiel (Fig. 3) erläutert - mit Hilfe des Manipulators 150 eingestellt.

10 [0024] Die Figuren 7a und 7b zeigen Vorrichtungen, welche nicht durch die Ansprüche abgedeckt sind. Bei dem Beispiel in Fig. 7a sind an dem Rollenträger 401, auf den auch der Aktor 302 wirkt, zwei Rollen 101a und 101b angeordnet. Das Band 102 läuft über die beiden Rollen 101a, 101b im Wesentlichen rechtwinklig zur Wirkrichtung des Aktors 302. Das Werkstück 200 kann zwischen den Rollen 101a, 101b bearbeitet (z.B. geschliffen oder poliert) werden; das Band kann sich der Kontur des Werkstücks 200 anpassen. Im Übrigen ist das Beispiel gemäß Fig. 7a gleich aufgebaut wie das Beispiels aus Fig. 3. Um Wiederholungen zu vermeiden wird daher auf die Ausführungen zu Fig. 3 verwiesen. Die 15 Alternative aus Fig. 7b entspricht im Wesentlichen dem vorherigen Beispiel aus Fig. 7a mit dem einzigen Unterschied, dass an dem Träger 401' keine Rollen angeordnet sind. Der Träger 401' (Gleitschlitten) weist stattdessen eine Gleitfläche 101c auf, entlang der das Band im Wesentlichen rechtwinklig zur Wirkrichtung des Aktors 302 gleiten kann. In beiden Beispielen verläuft das Band 102 im Arbeitspunkt im Wesentlichen senkrecht zur Wirkrichtung des Aktors 302. Die 20 Aktorkraft F_A und die Kontaktkraft (Reaktionskraft) F_K ($F_K=-F_A$) sind damit von den Bandkräften F_{B1}', F_{B2}' insofern entkoppelt, dass keine Rückwirkung der Bandkräfte F_{B1}', F_{B2}' auf den Aktor 302 erfolgt.

25 [0025] Anders als bei den vorhergehenden Ausführungsbeispielen wird bei Beispiel gemäß Fig. 8 nicht das Werkstück von dem Manipulator 150 geführt, sondern die Schleifmaschine. Der Rahmen 160 (vgl. z.B. Fig. 3) ist damit Teil des Manipulators 150 bzw. starr mit diesem (dessen Tool-Center-Point TCP) verbunden. Das Werkstück 200 kann auf einer festen Auflage (nicht dargestellt) angeordnet sein. Ähnlich wie in dem Beispiel aus Fig. 3 sind auf einem Rollenträger 401 neben der Umlenkrolle 101 noch zwei weitere Umlenkrollen 101a und 101b angeordnet sind. Des Weiteren sind noch zwei weitere Umlenkrollen 105 und 103 vorgesehen, welche mittels der Rollenträger 402 bzw. 403 an dem Manipulator 150 (a, Rahmen 160) gelagert sind. Wie in dem Beispiel aus Fig. 3 kann die Rolle 4 mit Hilfe eines Motors angetrieben werden. Der Motor (nicht explizit dargestellt), kann dazu auch an dem Träger 402 gelagert sein. Die Rolle 105 an dem Rollenträger 402 ist als Spannrolle ausgebildet.

30 [0026] Der Rollenträger 401 mit den Rollen 101, 101a und 101b ist ähnlich im Beispiel gemäß Fig. 3 verschiebbar am Manipulator gelagert, wobei eine Verschiebung des Rollenträgers 401 in x-Richtung ermöglicht wird und andere Freiheitsgrade sperrt. Der Träger 404 ist ebenfalls am Manipulator 150 gelagert. An dem Träger 404 ist der Aktor 302 angeordnet, der auf den Rollenträger 401 wirkt. Anders als in den vorhergehenden Beispielen wird gemäß Fig. 8 kein Schleifband verwendet, sondern ein einfacher Riemen. Als Werkzeug ist mit der vordersten Rolle 101 eine Schleifscheibe 35 101' (oder ein anderes rotierendes Werkzeug) verbunden. Wie in den vorherigen Beispielen verläuft in einem Arbeitspunkt des Aktors (Aktorauslenkung $x=x_0$) Riemen im Wesentlichen rechtwinklig zur Wirkrichtung des Aktors, sodass die Riemekräfte F_{B1}', F_{B2}' von der Aktorkraft entkoppelt sind und keine Rückwirkung der Riemekräfte F_{B1}', F_{B2}' auf den Aktor 302 erfolgt.

40 [0027] Figur 9 zeigt ein nicht durch die Ansprüche abgedecktes Beispiel, bei dem auf einem langgestreckten Rollenträger 401 zwei Rollen 101, 101a gegenüberliegenden Enden des Rollenträgers 401 angeordnet sind. Der Rollenträger ist an dem Rahmen 160 (vgl. Fig. 3, in Fig. 9 nicht dargestellt) verschiebbar gelagert. Zwei weitere Rollen 103 und 105 sind ebenfalls an dem Rahmen gelagert (Träger 403 und 402), wobei die Rolle 105 durch einen Motor angetrieben sein kann (vgl. Fig. 3, in Fig. 9 nicht dargestellt) und die andere Rolle 103 ein Teil einer Spanneinheit sein kann, um den umlaufenden Riemen 102 zu spannen. Alternativ kann die Spanneinheit auch im Antrieb (Rolle 105) integriert sein. Der 45 verschiebbare Rollenträger 401 (Gleitschlitten) ist zwischen den Rollen 103 und 105 angeordnet; das um die Rollen 101, 103, 101a, 105 laufende Band bilden in der Querschnittsdarstellung annähernd ein konvexes Viereck. Anhand der Darstellung wird deutlich, dass die auf den Rollenträger 401 wirkenden Bandkräfte in Wirkrichtung des Aktors 302 sich gegenseitig aufheben, und auf den Aktor 302, der auf den Rollenträger 401 wirkt, keine Bandkräfte zurückwirken. Der Aktor drückt mit einer Kraft F_A auf den Rollenträger 401 und damit die Rolle 101 auf das Werkstück. Die Kontaktkraft 50 F_K (Reaktionskraft) entspricht der Aktorkraft F_A ($F_K = -F_A$).

55 [0028] Gemäß Figur 9 wird das Werkstück von einem Manipulator 150 geführt und so positioniert, dass die Auslenkung x des Aktors 302 in einem definierten Arbeitspunkt x_0 liegt. Der Aktor 302 arbeitet rein kraftgeregelt; die Position wird durch den (positionsgergeleneten) Manipulator 150 bestimmt. Kleiner Abweichungen vom Arbeitspunkt (z.B. aufgrund von Form und Lagetoleranzen des Werkstücks oder aufgrund beschränkter Positionierungsgenauigkeit des Manipulators 150) führen zu keiner nennenswerten Änderung in der Geometrie der Vorrichtung und der Bandkräfte, sodass die Schleifkraft immer durch den kraftgeregelten Aktor 302 vorgegeben werden kann.

[0029] Fig. 10 zeigt ein Beispiel eines Regelkreises zur Regelung der Kontaktkraft F_K zwischen dem Werkstück 200 und dem Schleifband 102 an der Umlenkrolle 101. Bei vollständiger Entkopplung zwischen Aktorkraft F_A und resultie-

render Bandkraft $F_{B,x}$ in Wirkrichtung des Aktors (x-Richtung) sind Aktorkraft F_A und Kontaktkraft F_K betragsmäßig gleich, jedoch entgegengesetzt orientiert, d.h. $-F_K = F_A$. Sofern ein Teil der resultierenden Bandkraft F_B auf den Aktor 302 zurückwirkt, ist die Kontaktkraft betragsmäßig die Summe aus Aktorkraft F_A und resultierender Bandkraft in Wirkrichtung des Aktors $F_{B,x}$, d.h. $-F_K = F_A + F_{B,x}$.

[0030] Die Kraftmessung (Kraftmesseinheit 303) kann direkt über einen im Aktor 302 integrierten oder mit diesem gekoppelten Kraftsensor erfolgen. Bei einem pneumatischen Aktor kann die Kraftmessung jedoch auch indirekt über den Druck p im pneumatischen Aktor unter Berücksichtigung der Auslenkung x des Aktors 302 erfolgen. Das heißt die Aktorkraft $F_A(p, x)$ ist eine Funktion von Druck p im Aktor (z.B. im Pneumatikkolben) und der Auslenkung x des Aktors. Aus der gemessenen Aktorkraft F_A kann der gesuchte Messwert $F_{K,m}$ für die Kontaktkraft ermittelt werden. Bei einer Entkopplung zwischen resultierender Bandkraft F_B und Aktorkraft F_A gilt $F_{K,m} = -F_A(p, x)$. Sofern keine vollständige Entkopplung zwischen Aktorkraft F_A und resultierender Bandkraft $F_{B,x}$ in Wirkrichtung des Aktors 302 vorliegt, kann bei der Messung der Kontaktkraft eine Schätzung oder eine separate Messung der resultierenden Bandkraft berücksichtigt werden. Für den Messwert $F_{K,m}$ gilt in diesem Fall: $F_{K,m} = -F_A(p, x) - F_{B,x}$. Aus dem Messwert $F_{K,m}$ für die Kontaktkraft und einem korrespondierenden Sollwert $F_{K,s}$ kann ein Regelfehler F_E berechnet werden ($F_E = F_{K,s} - F_{K,m}$), der dem Regler 301 eingangsseitig zugeführt ist. Der Regler 301 kann z.B. ein P-Regler, ein PI-Regler, oder ein PID-Regler. Jedoch können auch andere Reglertypen verwendet werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (100) zur Bearbeitung einer Oberfläche eines Werkstücks (200a), die folgendes aufweist:

einen Rahmen (160);
 einen Rollenträger (401), an dem eine erste Rolle (101) drehbar gelagert ist und der an dem Rahmen (160) entlang einer ersten Richtung (x) verschiebbar gelagert ist;
 eine zweite Rolle (103), welche an dem Rahmen (160) gelagert ist;
 ein Band (102), welches um die beiden Rollen (101, 103) geführt ist, und aufgrund dessen Spannung eine resultierende Bandkraft (F_B, F_B') auf den Rollenträger wirkt, wobei die erste Rolle (101) nur als Umlenkrolle dient; und
 eine Spannrolle (105) zum Einstellen einer Vorspannkraft im Band (102);
gekennzeichnet durch
 einen Aktor (302), welcher mechanisch mit dem Rahmen (160) und dem Rollenträger (401) derart gekoppelt ist, dass eine einstellbare Aktorkraft (F_A) zwischen dem Rahmen (160) und der ersten Rolle (101) entlang der ersten Richtung (x) wirkt;
 wobei das Band mit Hilfe der zweiten Rolle (103) oder mit Hilfe der zweiten Rolle (103) und weiterer Rollen so geführt ist, dass die auf den Rollenträger (401) wirkende resultierende Bandkraft (F_B, F_B') bei einer Soll-Auslenkung des Aktors (302) annähernd in einer zweiten Richtung (y) wirkt, die orthogonal zur ersten Richtung (x) ist, wobei der Aktor (302) rein kraftgeregt arbeitet.

2. Die Vorrichtung gemäß Anspruch 1, die weiter aufweist:

eine Kraftmessvorrichtung zur direkten oder indirekten Messung einer Kontaktkraft (F_K) zwischen der ersten Rolle (101) und einem Werkstück (200), oder zwischen einem mit der ersten Rolle (101) verbundenen rotierendem Werkzeug (101') und dem Werkstück (200) und
 eine Steuereinheit, welche dazu ausgebildet ist, die Aktorkraft (F_A) so einzustellen, dass die Kontaktkraft (F_K) einem vorgebbaren Sollwert ($F_{K,S}$) entspricht.

3. Die Vorrichtung gemäß Anspruch 2,

wobei der Aktor (302) ein pneumatischer Linearaktor ist und
 wobei die Kraftmessvorrichtung einen Drucksensor aufweist, der dazu ausgebildet ist, den Luftdruck (p) im pneumatischen Linearaktor zu messen.

4. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3,

bei der die erste Rolle (101) an dem Rollenträger (401) um eine Drehachse drehbar gelagert ist und der Rollenträger (401) mit Hilfe einer Linearführung (140) entlang der ersten Richtung (x) relativ zum Rahmen (160) verschiebbar ist.

5. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4,

EP 3 288 712 B1

wobei - bei einer Soll-Auslenkung des Aktors (302) - das Band (102) zum Rollenträger (401) hin und vom Rollenträger (401) weg annähernd in einem rechten Winkel zur ersten Richtung verläuft.

6. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem

5 die erste Rolle (101) an einem ersten Ende des Rollenträgers (401) und eine weitere Rolle (101a) an einem zweiten, dem ersten Ende gegenüberliegenden Ende des Rollenträgers (401) gelagert ist, und
10 das Band (102) bei einer Nenn-Auslenkung (x_0) des Aktors (302) derart symmetrisch um die erste Rolle (101) und weitere Rolle geführt ist, dass die resultierende Bandkraft auf den Rollenträger (401) in die erste Richtung null oder vernachlässigbar klein.

7. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6,

15 bei der der Rahmenträger Umlenkrollen (101a, 101b) zum Umlenken des Bandes (102) aufweist.
wobei die Umlenkrollen (101a, 101b) derart angeordnet sind, dass bei einer Nenn-Auslenkung (x_0) des Aktors (302) das Band zum Rollenträger (401) hin und vom Rollenträger (401) weg in einer zweiten Richtung (y) verläuft, die orthogonal zur ersten Richtung ist.

8. Verfahren zur Oberflächenbearbeitung eines Werkstückes (200) mit Hilfe einer Vorrichtung (100), die folgendes aufweist:

20 einen Rahmen (160),
einen Rollenträger (401), an dem eine erste Rolle (101) drehbar gelagert ist und der an dem Rahmen (160) entlang einer ersten Richtung (x) verschiebbar gelagert ist,
25 eine zweite Rolle (103), welche an dem Rahmen (160) gelagert ist,
einen Aktor (302), welcher mechanisch mit dem Rahmen (160) und dem Rollenträger (401) gekoppelt ist,
ein Band (102), welches zumindest um die beiden Rollen (101, 103) geführt ist und welches eine resultierende Bandkraft ($F_B, F_{B'}$) auf den Rollenträger (401) ausübt, wobei die erste Rolle (101) nur als Umlenkrolle dient, und
30 eine Spannrolle (105) zum Einstellen einer Vorspannkraft im Band (102),
wobei das Verfahren folgendes umfasst:

Positionieren des Werkstücks (200) an der ersten Rolle (101),
Messen einer Kontaktkraft (F_K) zwischen der ersten Rolle (101) und dem Werkstück (200);
Einstellen einer Kontaktkraft (F_K) zwischen der ersten Rolle (101) und dem Werkstück (200), indem eine zwischen Rahmen (160) und Aktor (302) wirkende Kraft eingestellt wird, wobei beim Positionieren des Werkstücks (200) dieses relativ zur Vorrichtung (100) so positioniert wird, dass die Auslenkung des Aktors (302) seiner Soll-Auslenkung entspricht, bei der die auf den Rollenträger (401) wirkende resultierende Bandkraft ($F_B, F_{B'}$) annähernd in einer zweiten Richtung (y) wirkt, die orthogonal zur ersten Richtung (x) ist, wobei der Aktor (302) rein kraftgeregelt arbeitet.

40 9. Das Verfahren gemäß Anspruch 8, bei dem die Rückwirkung der resultierenden Bandkraft ($F_B, F_{B'}$) auf den Aktor bei Soll-Auslenkung annähernd Null ist.

45 10. Das Verfahren gemäß Anspruch 8 oder 9, bei dem der Aktor ein pneumatischer Linearaktor ist und das Messen einer Kontaktkraft (F_K) das Messen des Drucks (p) im pneumatischen Linearaktor umfasst.

11. System zur robotergestützten Oberflächenbearbeitung von Werkstücken, das folgendes aufweist:

50 eine Bearbeitungsvorrichtung (100), und
einen Manipulator (150) zur Positionierung des Werkstückes relativ zu der Bearbeitungsvorrichtung (100),
wobei die Bearbeitungsvorrichtung (100) folgendes aufweist:

55 einen Rahmen (160);
einen Rollenträger (401), an dem eine erste Rolle (101) drehbar gelagert ist und der an dem Rahmen (160) entlang einer ersten Richtung (x) verschiebbar gelagert ist;
mindestens eine zweite Rolle (103), welche an dem Rahmen (160) gelagert ist;
ein Band (102), welches zumindest um die beiden Rollen (101, 103) geführt ist, und aufgrund dessen Spannung eine resultierende Bandkraft ($F_B, F_{B'}$) auf den Rollenträger wirkt, wobei die erste Rolle (101) nur

als Umlenkrolle dient; und
 eine Spannrolle (105) zum Einstellen einer Vorspannkraft im Band (102),
gekennzeichnet durch
 5 einen Aktor (302), welcher mechanisch mit dem Rahmen (160) und dem Rollenträger (401) derart gekoppelt ist, dass eine einstellbare Aktorkraft (F_A) zwischen dem Rahmen (160) und der ersten Rolle (101) entlang der ersten Richtung (x) wirkt;
 wobei das Band mit Hilfe der zweiten Rolle (103) oder mit Hilfe der zweiten Rolle (103) und weiterer Rollen so geführt ist, dass die auf den Rollenträger (401) wirkende resultierende Bandkraft ($F_B, F_{B'}$) bei einer Soll-Auslenkung des Aktors (302) annähernd in einer zweiten Richtung (y) wirkt, die orthogonal zur ersten
 10 Richtung (x) ist, wobei der Aktor (302) rein kraftgeregt arbeitet und eine Position des Werkstücks relativ zu der Bearbeitungsvorrichtung (100) lediglich durch den Manipulator (150) bestimmt wird.

12. System gemäß Anspruch 11,
 bei dem der Manipulator (150) das Werkstück relativ zu der Bearbeitungsvorrichtung (100) so positioniert, dass die
 15 Auslenkung des Aktors (302) seiner Soll-Auslenkung entspricht.

Claims

- 20 1. A device (100) for machining a surface of a workpiece (200a), having:

a frame (160);
 a roller support (401) on which a first roller (101) is rotatably mounted and which is slidably mounted on the
 25 frame (160) along a first direction (x);
 a second roller (103) which is mounted on the frame (160);
 a belt (102) which is guided around the two rollers (101, 103) and due to the tension of which a resulting belt force ($F_B, F_{B'}$) acts on the roller support, wherein the first roller (101) only serves as a deflection roller; and
 an idler (105) for adjusting a biasing force in the belt (102);
characterized by
 30 an actuator (302) which is mechanically coupled to the frame (160) and the roller support (401) such that an adjustable actuator force (F_A) acts between the frame (160) and the first roller (101) along the first direction (x);
 wherein the belt is guided by means of the second roller (103) or by means of the second roller (103) and further rollers such that the resultant belt force ($F_B, F_{B'}$) acting on the roller support (401) at a target deflection of the
 35 actuator (302) acts approximately in a second direction (y) which is orthogonal to the first direction (x), wherein the actuator (302) operates in a purely force-controlled manner.

2. The device according to claim 1, further having:

a force measuring device for direct or indirect measurement of a contact force (F_K) between the first roller (101) and a workpiece (200), or between a rotating tool (101') connected to the first roller (101) and the workpiece (200), and
 40 a control unit which is adapted to adjust the actuator force (F_A) such that the contact force (F_K) corresponds to a predefinable setpoint value ($F_{K,S}$).

- 45 3. The device according to claim 2,

wherein the actuator (302) is a pneumatic linear actuator, and
 wherein the force measuring device has a pressure sensor which is adapted to measure the air pressure (p) in
 50 the pneumatic linear actuator.

4. The device according to any one of claims 1 to 3,

in which the first roller (101) is rotatably mounted on the roller support (401) about an axis of rotation, and the roller support (401) is displaceable along the first direction (x) relative to the frame (160) by means of a linear guide (140).

- 55 5. The device according to any one of claims 1 to 4,

wherein-at a target deflection of the actuator (302)-the belt (102) runs towards the roller support (401) and away from the roller support (401) approximately at a right angle to the first direction.

6. The device according to any one of claims 1 to 5, in which

the first roller (101) is mounted on a first end of the roller support (401) and a further roller (101a) is mounted on a second end of the roller support (401) opposite the first end, and
 5 the belt (102) is guided symmetrically around the first roller (101) and further roller at a nominal deflection (x_0) of the actuator (302) such that the resulting belt force on the roller support (401) in the first direction is zero or negligibly small.

7. The device according to any one of claims 1 to 6,

10 in which the frame support has deflection rollers (101a, 101b) for deflecting the belt (102).
 wherein the deflection rollers (101a, 101b) are arranged such that, at a nominal deflection (x_0) of the actuator (302), the belt runs towards the roller support (401) and away from the roller support (401) in a second direction (y) which is orthogonal to the first direction.
 15

8. A method for machining surfaces of a workpiece (200) by means of a device (100), having:

20 a frame (160),
 a roller support (401) on which a first roller (101) is rotatably mounted and which is slidably mounted on the frame (160) along a first direction (x),
 a second roller (103) which is mounted on the frame (160),
 an actuator (302) which is mechanically coupled to the frame (160) and the roller support (401),
 25 a belt (102) which is guided at least around the two rollers (101, 103) and which exerts a resulting belt force ($F_B, F_{B'}$) on the roller support (401), wherein the first roller (101) only serves as a deflection roller, and
 an idler (105) for adjusting a biasing force in the belt (102),
 wherein the method comprises:

30 positioning the workpiece (200) on the first roller (101),
 measuring a contact force (F_K) between the first roller (101) and the workpiece (200);
 35 adjusting a contact force (F_K) between the first roller (101) and the workpiece (200) by adjusting a force acting between the frame (160) and the actuator (302), wherein the positioning of the workpiece (200) positions the same relative to the device (100) such that the deflection of the actuator (302) corresponds to its target deflection, at which the resulting belt force ($F_B, F_{B'}$) acting on the roller support (401) acts approximately in a second direction (y) which is orthogonal to the first direction (x), wherein the actuator (302) operates in a purely force-controlled manner.

9. The method according to claim 8, in which the retroactive effect of the resulting belt force ($F_B, F_{B'}$) on the actuator at the target deflection is approximately zero.40 10. The method according to claim 8 or 9, in which the actuator is a pneumatic linear actuator, and the measuring of a contact force (F_K) comprises measuring the pressure (p) in the pneumatic linear actuator.

11. A system for robotic surface machining of workpieces, having:

45 a machining device (100), and
 a manipulator (150) for positioning the workpiece relative to the machining device (100),
 wherein the machining device (100) has:
 50 a frame (160);
 a roller support (401) on which a first roller (101) is rotatably mounted and which is slidably mounted on the frame (160) along a first direction (x);
 at least one second roller (103) which is mounted on the frame (160);
 a belt (102) which is guided at least around the two rollers (101, 103) and due to the tension of which a resulting belt force ($F_B, F_{B'}$) acts on the roller support, wherein the first roller (101) only serves as a deflection roller; and
 55 an idler (105) for adjusting a biasing force in the belt (102),
characterized by
 an actuator (302) which is mechanically coupled to the frame (160) and the roller support (401) such that

an adjustable actuator force (F_A) acts between the frame (160) and the first roller (101) along the first direction (x);
 wherein the belt is guided by means of the second roller (103) or by means of the second roller (103) and further rollers such that the resultant belt force ($F_B, F_{B'}$) acting on the roller support (401) at a target deflection of the actuator (302) acts approximately in a second direction (y) which is orthogonal to the first direction (x), wherein the actuator (302) operates in a purely force-controlled manner, and a position of the workpiece relative to the machining device (100) is only determined by the manipulator (150).

12. The system according to claim 11,

in which the manipulator (150) positions the workpiece relative to the machining device (100) such that the deflection of the actuator (302) corresponds to its target deflection.

Revendications

1. Dispositif (100) servant à l'usinage d'une surface d'une pièce (200a), comportant :

un châssis (160) ;
 un support de rouleau (401) sur lequel un premier rouleau (101) est monté en rotation, et qui est monté de manière coulissante sur le châssis (160) le long d'une première direction (x) ;
 un second rouleau (103) monté sur le châssis (160) ;
 une courroie (102) qui est guidée autour des deux rouleaux (101, 103) et par la tension de laquelle une force de courroie résultante ($F_B, F_{B'}$) agit sur le support de rouleau, dans lequel le premier rouleau (101) sert uniquement de rouleau de renvoi ; et
 un galet tendeur (105) pour régler une force de sollicitation dans la courroie (102) ;
caractérisé par
 un actionneur (302) qui est couplé mécaniquement au châssis (160) et au support de rouleau (401) de sorte qu'une force d'actionneur réglable (F_A) entre le châssis (160) et le premier rouleau (101) agit le long de la première direction (x) ;
 dans lequel la courroie est guidée à l'aide du second rouleau (103) ou à l'aide du second rouleau (103) et d'autres rouleaux de sorte que la force de courroie résultante ($F_B, F_{B'}$) agissant sur le support de rouleau (401) agit, lors d'une déviation de consigne de l'actionneur (302), approximativement dans une seconde direction (y), qui est orthogonale à la première direction (x), dans lequel l'actionneur (302) fonctionne uniquement sous contrôle de force.

2. Dispositif selon la revendication 1, comportant en outre :

un dispositif de mesure de force pour mesurer directement ou indirectement une force de contact (F_K) entre le premier rouleau (101) et une pièce (200), ou entre un outil rotatif (101') relié au premier rouleau (101) et la pièce (200) et
 une unité de commande conçue pour régler la force d'actionnement (F_A) de sorte que la force de contact (F_K) correspond à une valeur de consigne prédéfinie ($F_{K,S}$).

3. Dispositif selon la revendication 2,

dans lequel l'actionneur (302) est un actionneur linéaire pneumatique, et
 dans lequel le dispositif de mesure de force comporte un capteur de pression conçu pour mesurer la pression de l'air (p) dans l'actionneur linéaire pneumatique.

4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3,

dans lequel le premier rouleau (101) est monté en rotation sur le support de rouleau (401) autour d'un axe de rotation, et le support de rouleau (401) peut être déplacé le long de la première direction (x) par rapport au châssis (160) à l'aide d'un guide linéaire (140).

5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4,

dans lequel - lors d'une déviation de consigne de l'actionneur (302) - la courroie (102) se dirige vers le support de rouleau (401) et s'éloigne du support de rouleau (401) approximativement à angle droit par rapport à la première direction.

6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel

le premier rouleau (101) est monté sur une première extrémité du support de rouleau (401) et un autre rouleau (101a) est monté sur une seconde extrémité du support de rouleau (401) opposée à la première extrémité, et la courroie (102) est guidée symétriquement autour du premier rouleau (101) et d'autres rouleaux lors d'une déviation nominale (x_0) de l'actionneur (302), de sorte que la force de courroie résultante sur le support de rouleau (401) dans la première direction est nulle ou négligeable.

7. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6,

dans lequel le support de châssis comporte des rouleaux de renvoi (101a, 101b) pour dévier la courroie (102). dans lequel les rouleaux de renvoi (101a, 101b) sont disposés de sorte que, lors d'une déviation nominale (x_0) de l'actionneur (302), la courroie se dirige vers le support de rouleau (401) et s'éloigne du support de rouleau (401) dans une seconde direction (y), qui est orthogonale à la première direction.

8. Procédé servant à l'usinage de surface d'une pièce (200) à l'aide d'un dispositif (100), comportant :

un châssis (160),
 un support de rouleau (401) sur lequel un premier rouleau (101) est monté en rotation, et qui est monté de manière coulissante sur le châssis (160) le long d'une première direction (x),
 un second rouleau (103) monté sur le châssis (160),
 un actionneur (302) qui est couplé mécaniquement au châssis (160) et au support de rouleau (401),
 une courroie (102) qui est guidée au moins autour des deux rouleaux (101, 103) et qui exerce une force de courroie résultante ($F_B, F_{B'}$) sur le support de rouleau (401), dans lequel le premier rouleau (101) sert uniquement de rouleau de renvoi, et
 un galet tendeur (105) pour régler une force de sollicitation dans la courroie (102),
 dans lequel le procédé comprend :

le positionnement de la pièce (200) sur le premier rouleau (101),
 la mesure d'une force de contact (F_K) entre le premier rouleau (191) et la pièce (200) ;
 le réglage d'une force de contact (F_K) entre le premier rouleau (101) et la pièce (200) en réglant une force agissant entre le châssis (160) et l'actionneur (302), dans lequel, lors du positionnement de la pièce (200), celle-ci est positionnée par rapport au dispositif (100) de sorte que la déviation de l'actionneur (302) correspond à sa déviation de consigne, dans laquelle la force de courroie résultante ($F_B, F_{B'}$) agissant sur le support de rouleau (401) agit approximativement dans une seconde direction (y), qui est orthogonale à la première direction (x), dans lequel l'actionneur (302) fonctionne uniquement sous contrôle de force.

9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel la réaction de la force de courroie résultante ($F_B, F_{B'}$) sur l'actionneur est approximativement nulle lors de la déviation de consigne.10. Procédé selon la revendication 8 ou 9, dans lequel l'actionneur est un actionneur linéaire pneumatique et la mesure d'une force de contact (F_K) comprend la mesure de la pression (p) dans l'actionneur linéaire pneumatique.

11. Système servant à l'usinage robotisé de surface de pièces, comportant :

un dispositif d'usinage (100), et
 un manipulateur (150) pour positionner la pièce par rapport au dispositif d'usinage (100),
 dans lequel le dispositif d'usinage (100) comporte :
 un châssis (160) ;
 un support de rouleau (401) sur lequel un premier rouleau (101) est monté en rotation, et qui est monté de manière coulissante sur le châssis (160) le long d'une première direction (x) ;
 au moins un second rouleau (103) monté sur le châssis (160) ;
 une courroie (102) qui est guidée au moins autour des deux rouleaux (101, 103) et par la tension de laquelle une force de courroie résultante ($F_B, F_{B'}$) agit sur le support de rouleau, dans lequel le premier rouleau (101) sert uniquement de rouleau de renvoi ; et
 un galet tendeur (105) pour régler une force de sollicitation dans la courroie (102),
caractérisé par

un actionneur (302) qui est couplé mécaniquement au châssis (160) et au support de rouleau (401) de sorte qu'une force d'actionneur réglable (F_A) entre le châssis (160) et le premier rouleau (101) agit le long de la première direction (x) ;

5 dans lequel la courroie est guidée à l'aide du second rouleau (103) ou à l'aide du second rouleau (103) et d'autres rouleaux de sorte que la force de courroie résultante (F_B, F_B') agissant sur le support de rouleau (401) agit, lors d'une déviation de consigne de l'actionneur (302), approximativement dans une seconde direction (y), qui est orthogonale à la première direction (x), dans lequel l'actionneur (302) fonctionne uniquement sous contrôle de force, et une position de la pièce par rapport au dispositif d'usinage (100) est déterminée uniquement par le manipulateur (150).

10 **12.** Système selon la revendication 11,
dans lequel le manipulateur (150) positionne la pièce par rapport au dispositif d'usinage (100) de sorte que la déviation de l'actionneur (302) correspond à sa déviation de consigne.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

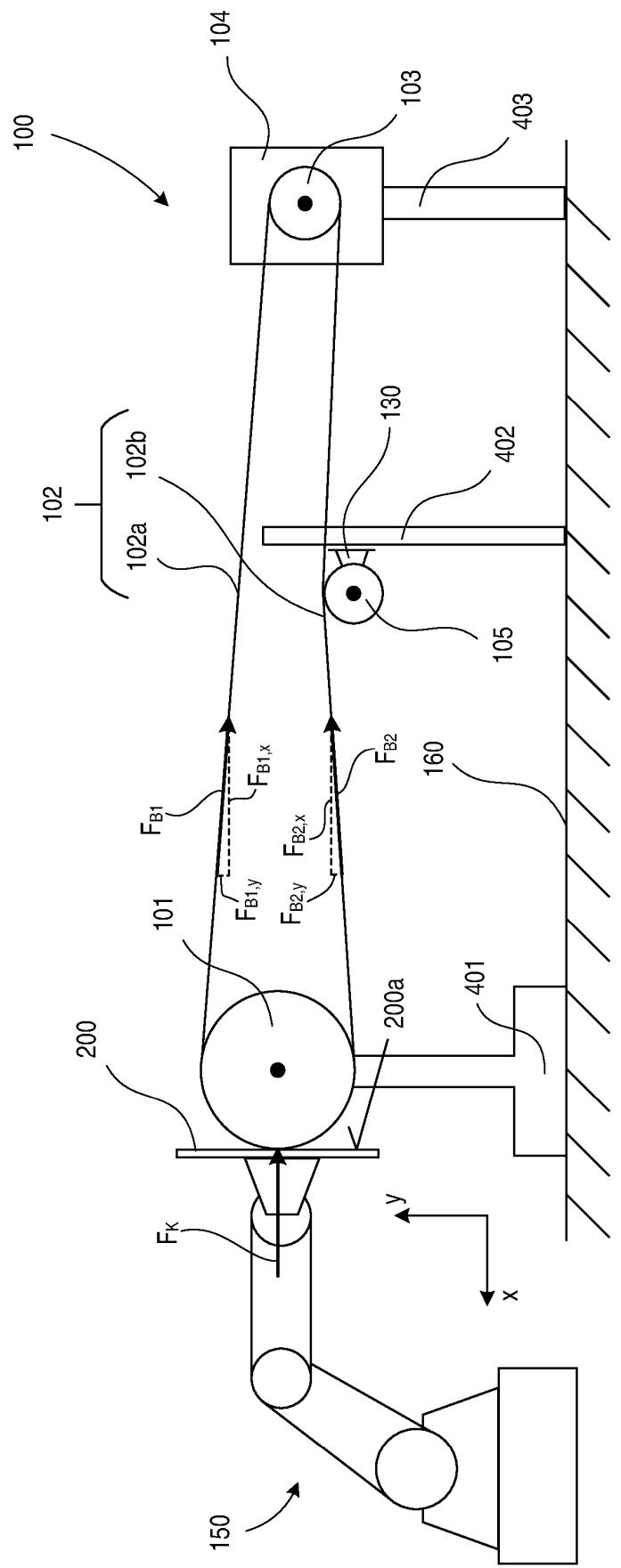


Fig. 1

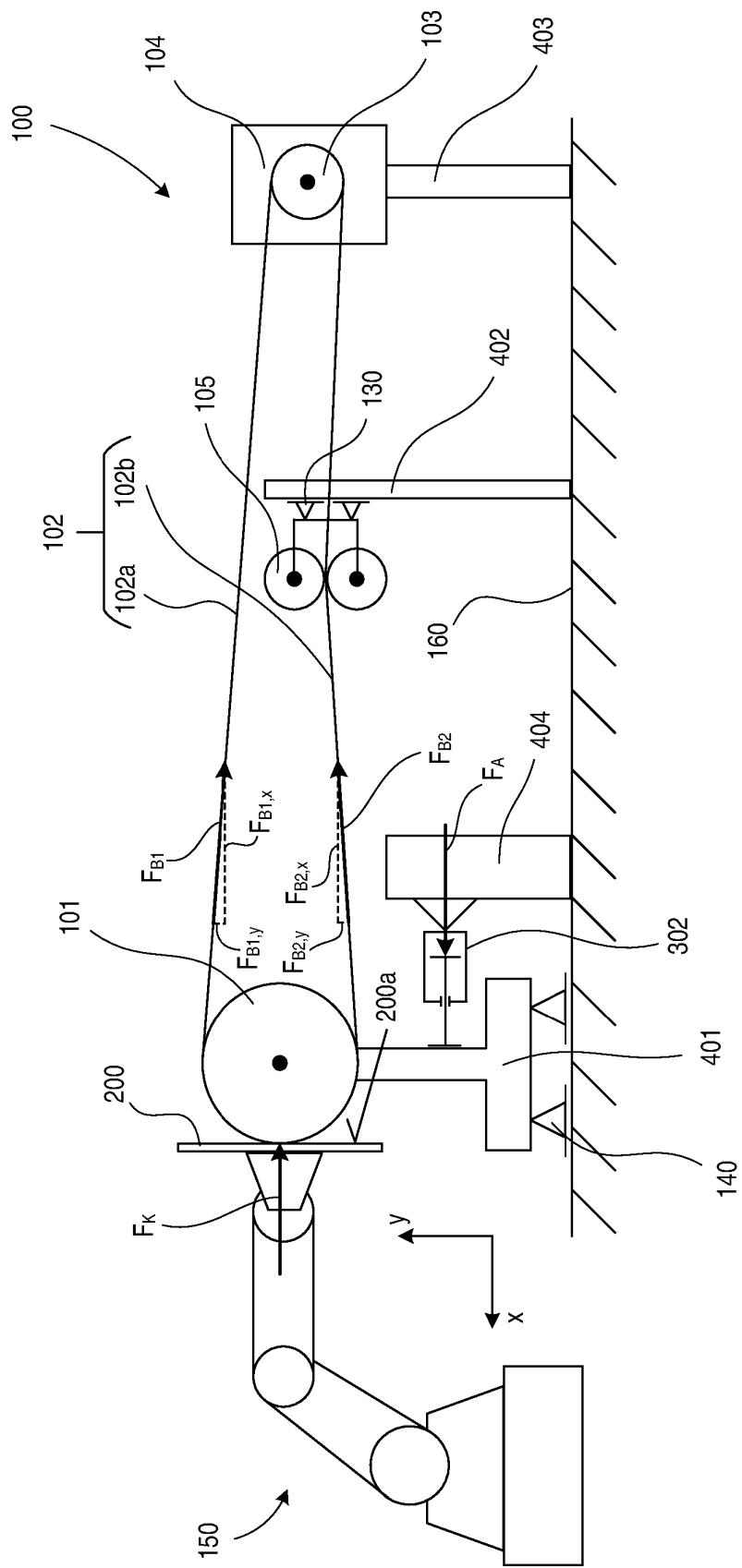


Fig. 2

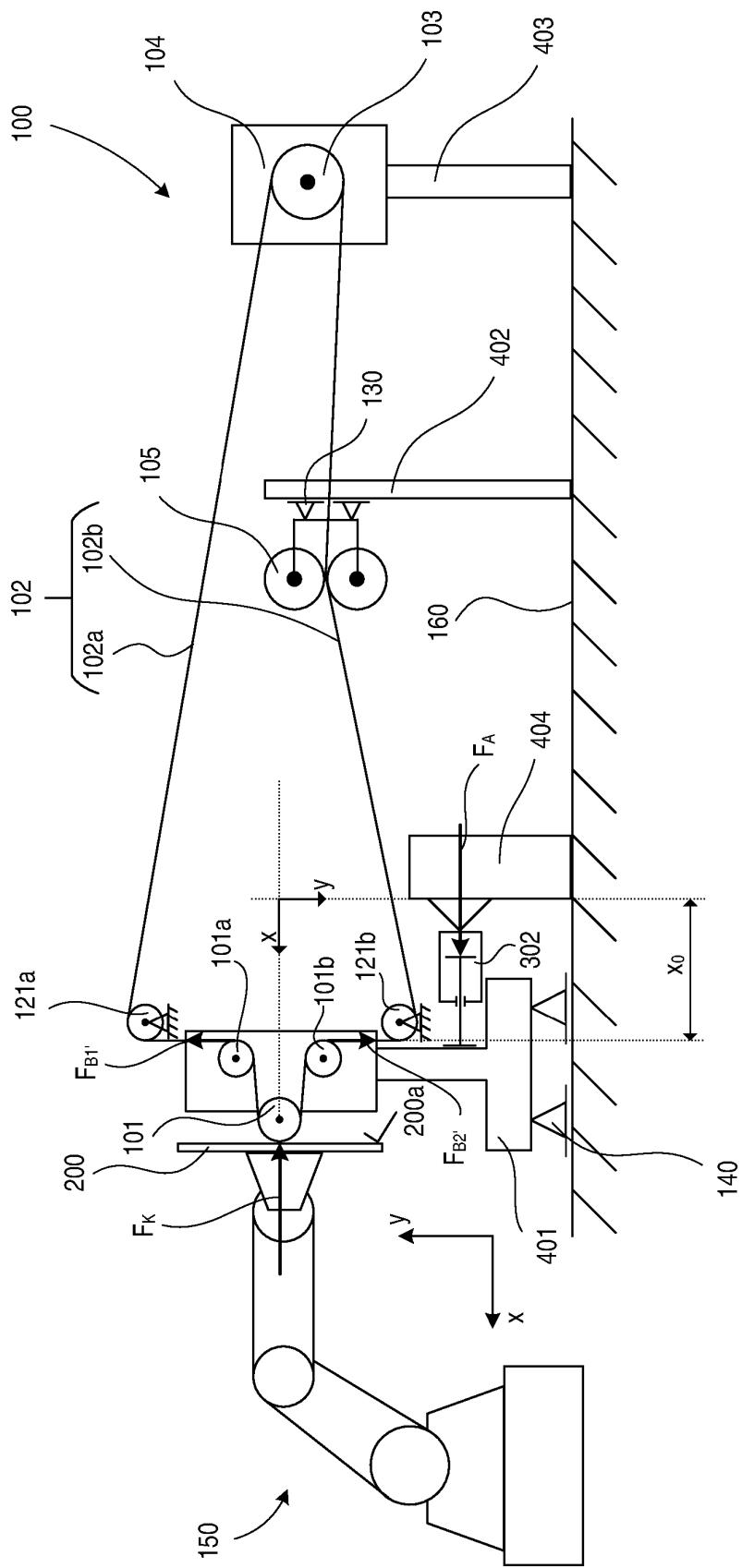


Fig. 3

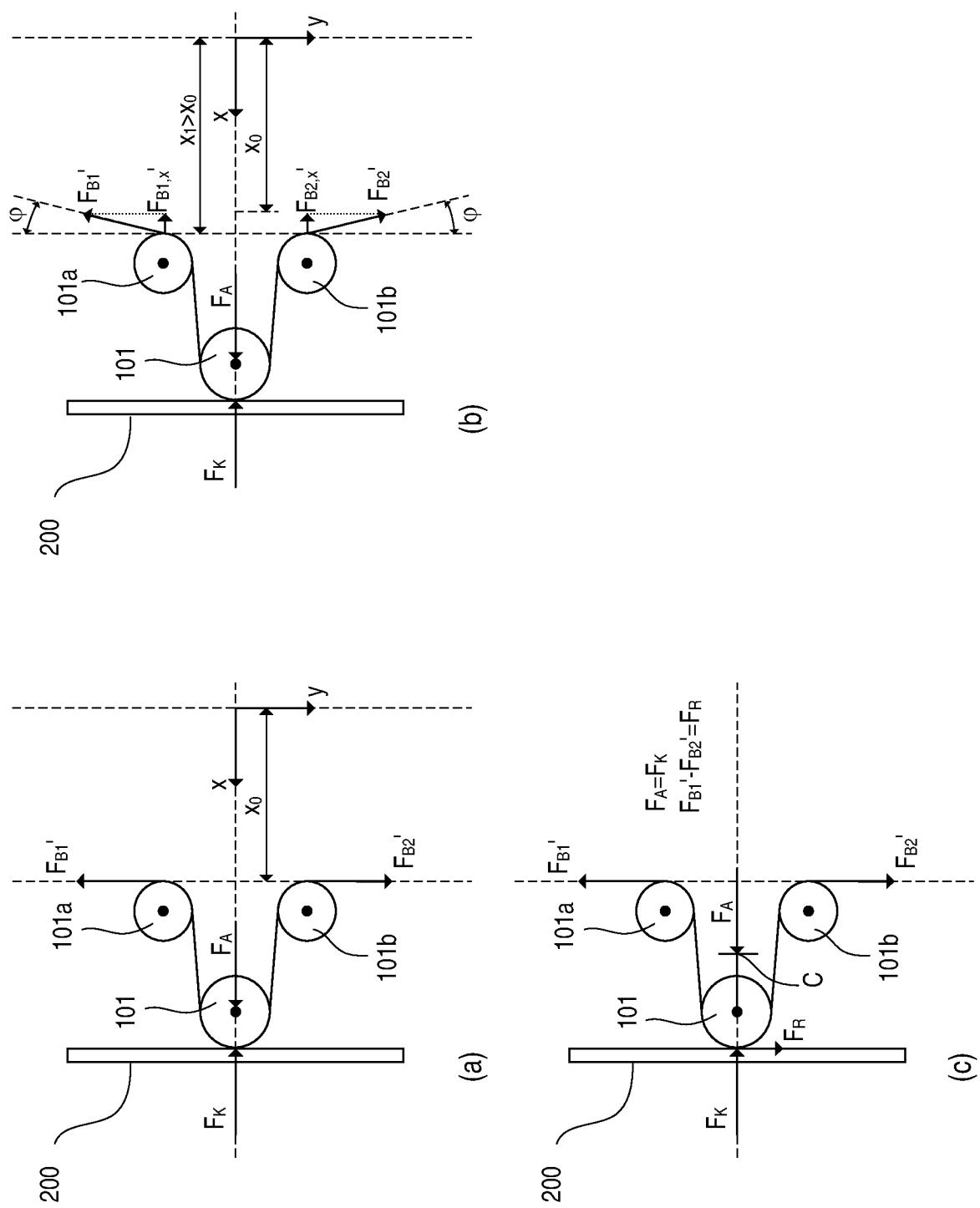


Fig. 4

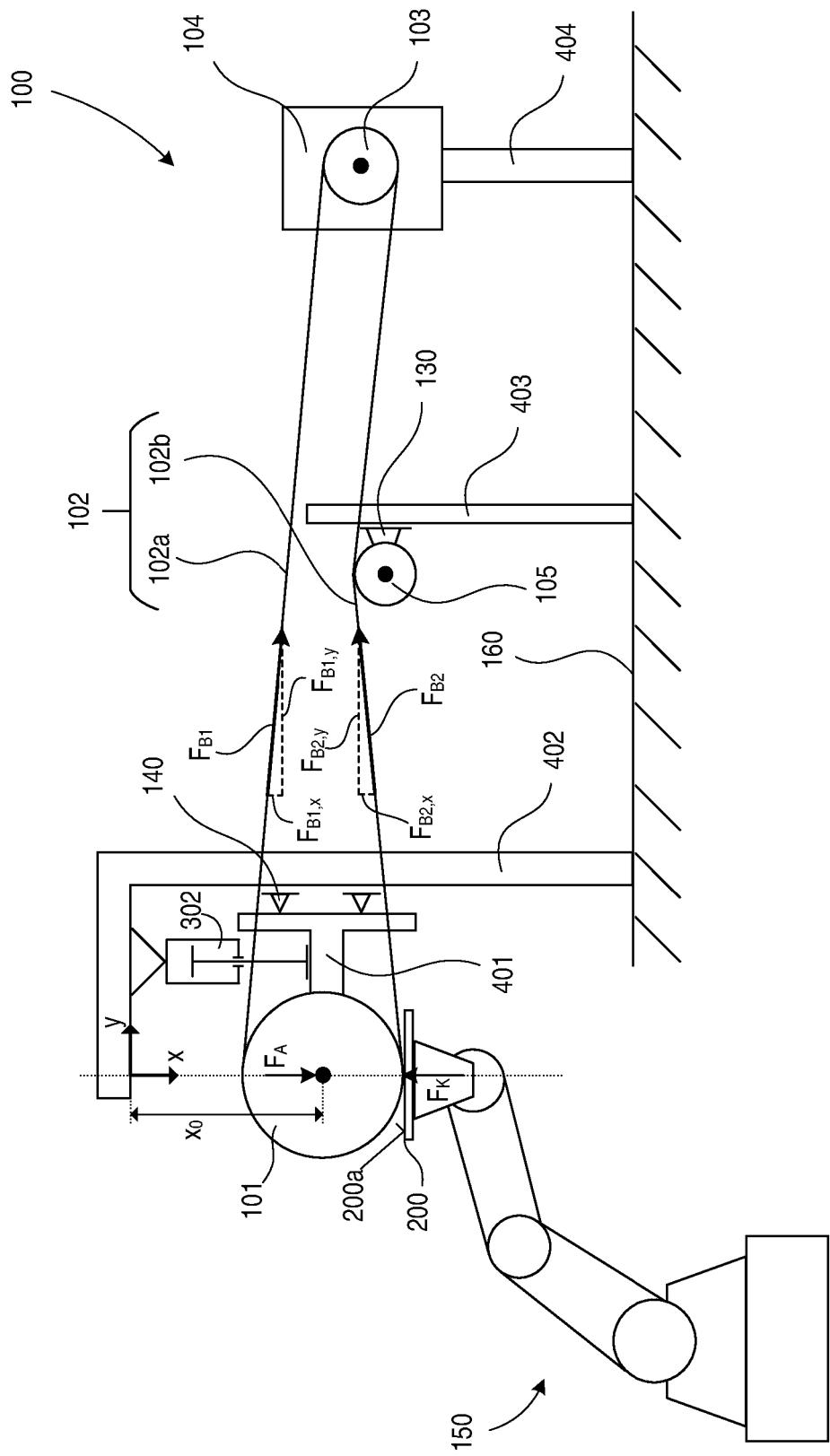


FIG 5

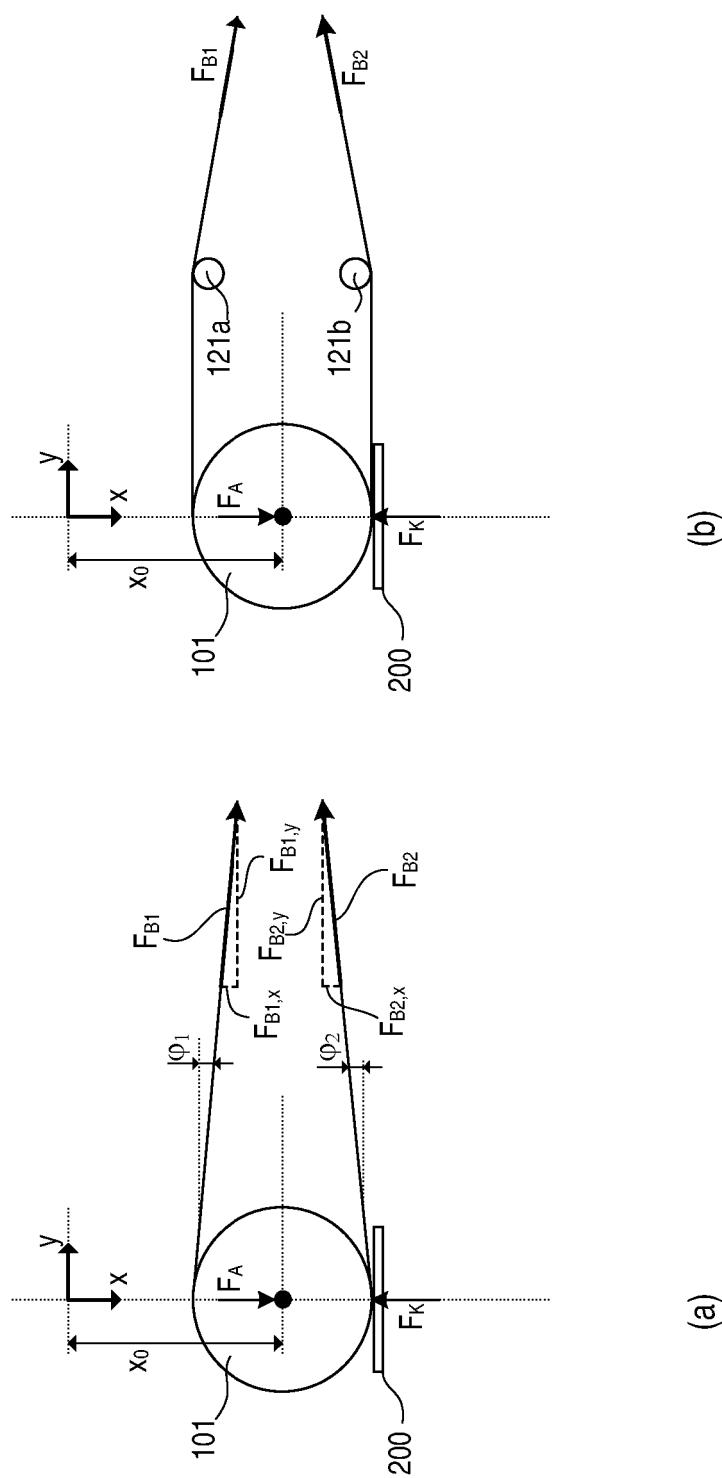


FIG 6

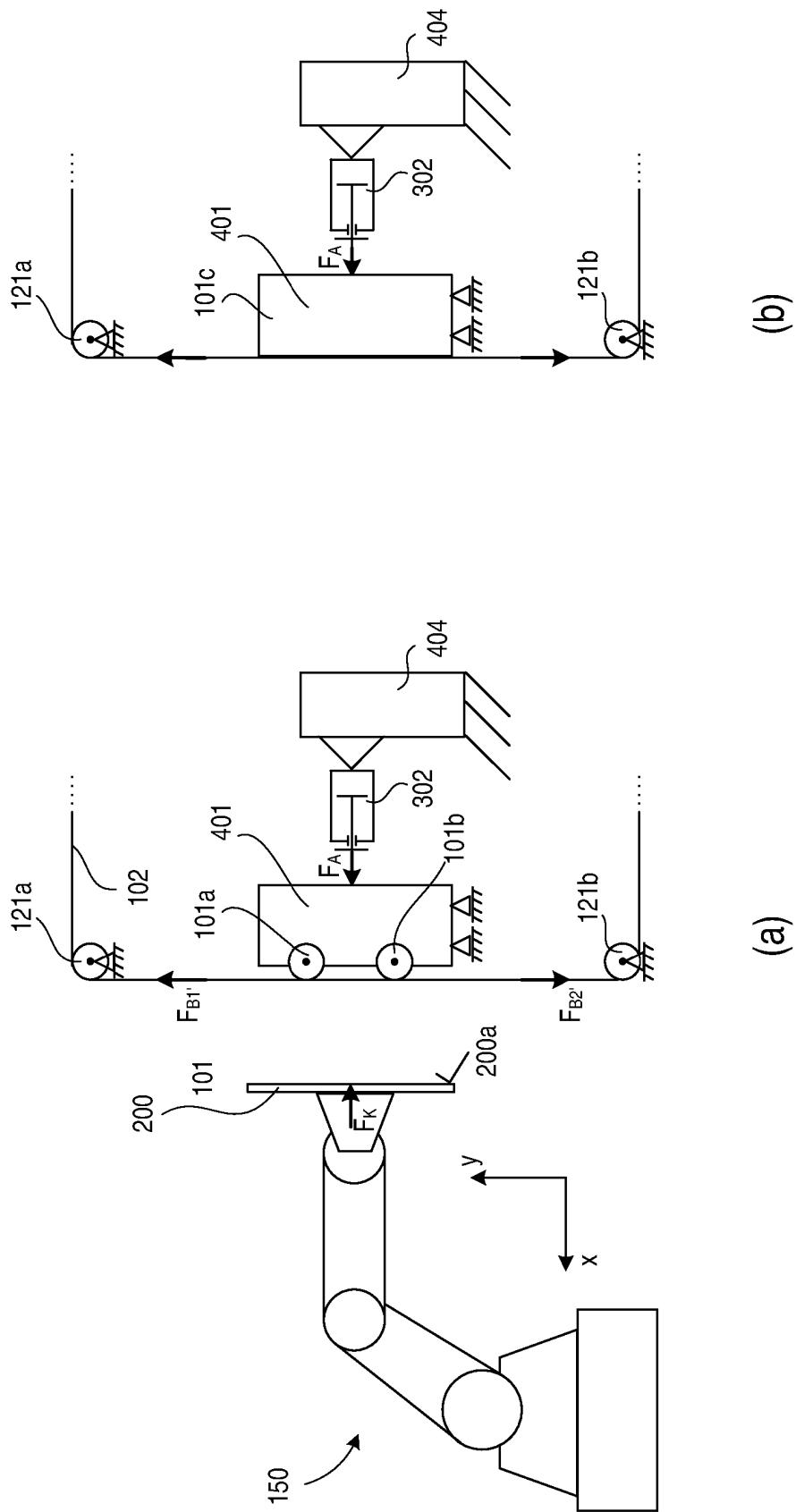


FIG 7

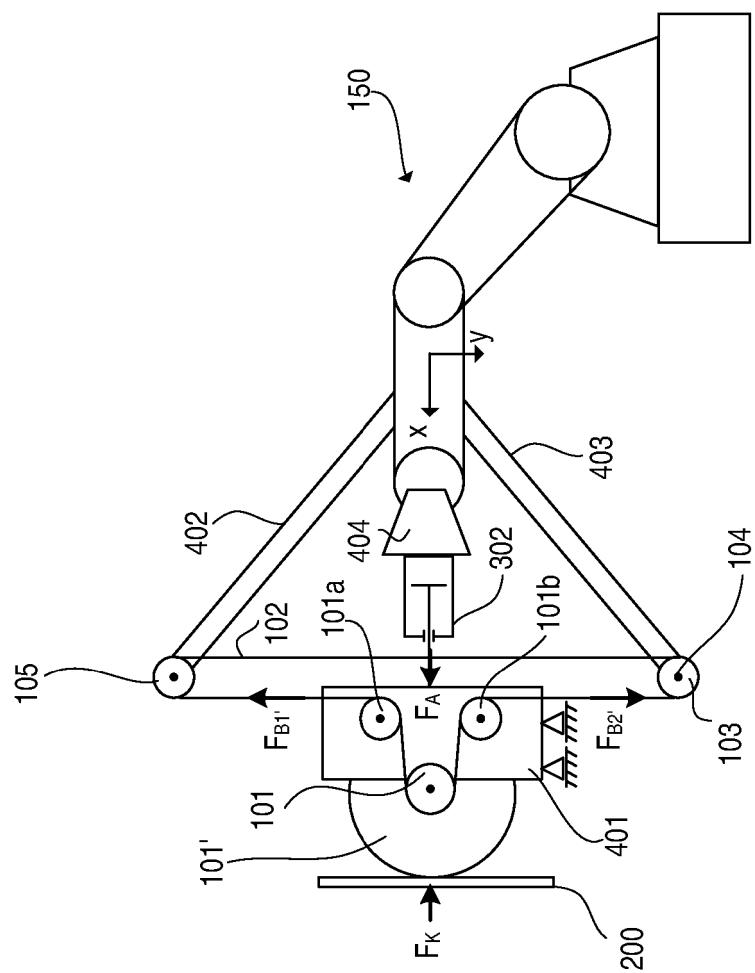


FIG 8

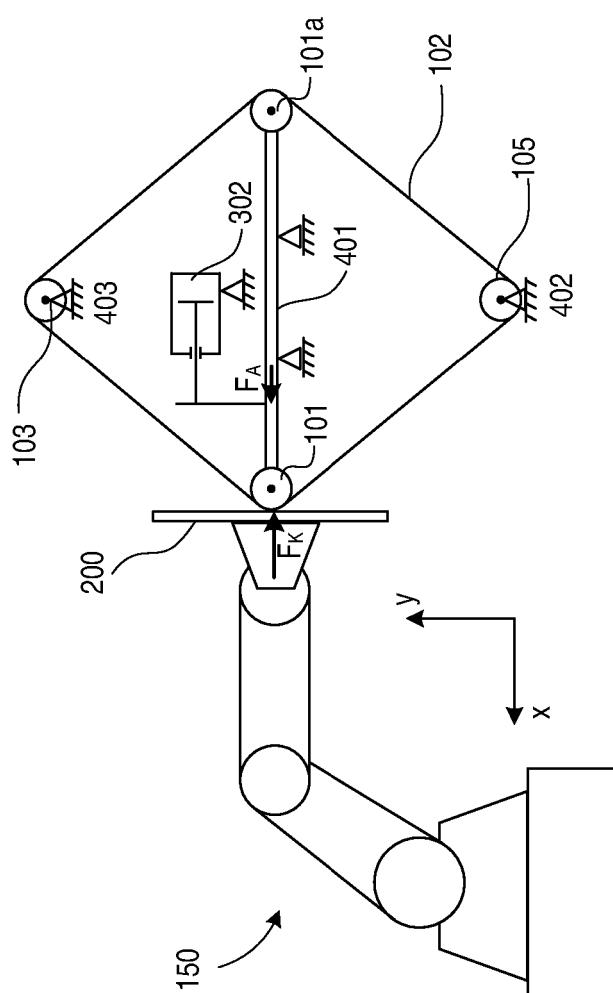


FIG 9

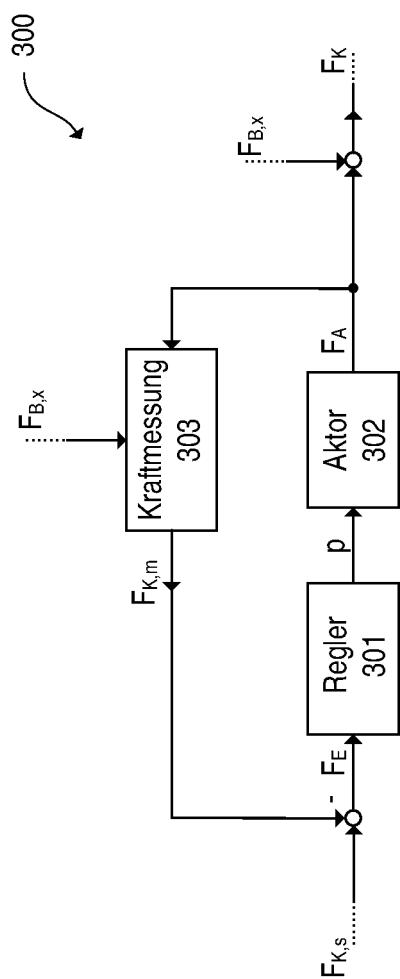


FIG 10

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

- JP S63089263 A [0002]
- DE 19825698 A1 [0002]
- JP 2009016759 A [0002]
- JP 2002301659 A [0002]
- EP 0477737 A1 [0002]
- DE 10013340 A1 [0002]