

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
29. September 2022 (29.09.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/200329 A1

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
B25J 9/16 (2006.01) B25J 11/00 (2006.01)
- (72) **Erfinder:** NADERER, Ronald; C/O Altenbergerstraße 69, Science Park/4. Stock, 4040 Linz (AT).
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2022/057458
- (74) **Anwalt:** WESTPHAL MUSSGNUMG & PARTNER, PATENTANWÄLTE MBB; Werinherstrasse 79, 81541 München (DE).
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
22. März 2022 (22.03.2022)
- (81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2021 106 990.4
22. März 2021 (22.03.2021) DE
- (71) **Anmelder:** FERROBOTICS COMPLIANT ROBOT TECHNOLOGY GMBH [—/AT]; Altenbergerstraße 69, Science Park/4. Stock, 4040 Linz (AT).

(54) **Title:** FORCE-CONTROLLED HANDLING APPARATUS FOR ROBOT-ASSISTED SURFACE MACHINING

(54) **Bezeichnung:** KRAFTGEREGELTE HANDHABUNGSVORRICHTUNG FÜR DIE ROBOTERGESTÜTZTE OBERFLÄCHENBEARBEITUNG

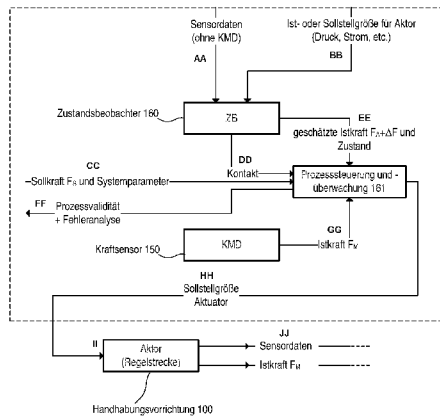


Fig. 3

- AA Sensor data (without load cell)
- BB Actual or target manipulated variable for actuator (pressure, current, etc.)
- CC Target force FS and system parameters
- DD Contact
- EE Estimated actual force $F_A + \Delta F$ and state
- FF Process validity + error analysis
- GG Actual force F_M
- HH Target manipulated variable
- Actuator
- II Actuator (control section)
- JJ Sensor data
- Actual force F_M
- 100 Handling apparatus
- 150 Force sensor
- 160 State observer
- 161 Process control and monitoring

(57) **Abstract:** One embodiment relates to a handling apparatus ("handling apparatus") comprising a linear actuator which acts between a first flange which can be connected to a manipulator, and a second flange to which a tool or a machine tool having a tool can be mounted. According to a manipulated variable, the linear actuator exerts a force onto the second flange or onto an end stop. The apparatus further comprises a force sensor which is coupled between the second flange and the tool and is designed to measure a force exerted onto the tool by the handling apparatus when there is contact between the tool and a surface. A control unit has a state observer which is designed to determine, on the basis of the manipulated variable, an estimated value for the force exerted onto the tool by the handling apparatus. The control unit is also designed to detect contact between the tool and the surface, wherein the manipulated variable is adjusted on the basis of the estimated value and a target value as long as no contact is detected, whereas the manipulated variable is adjusted on the basis of the measured force and the target value as long as contact is detected.

(57) **Zusammenfassung:** Ein Ausführungsbeispiel betrifft eine Handhabungsvorrichtung (handling apparatus) mit einem Linearaktor, der zwischen einem ersten Flansch, der mit einem Manipulator verbindbar ist, und einem zweiten Flansch, an dem ein Werkzeug oder eine Werkzeugmaschine mit einem Werkzeug montierbar ist, wirkt. Der Linearaktor übt nach Maßgabe einer Stellgröße eine Kraft auf den zweiten Flansch oder einen Endanschlag aus. Die Vorrichtung umfasst weiter einen Kraftsensor, der zwischen dem zweiten Flansch und dem Werkzeug gekoppelt und dazu ausgebildet ist, bei Kontakt zwischen Werkzeug und einer Oberfläche eine von der Handhabungsvorrichtung auf das Werkzeug ausgeübte Kraft zu messen. Eine Steuereinheit weist eine einem



WO 2022/200329 A1

TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,
ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
-

Zustandsbeobachter auf, der dazu ausgebildet ist, basierend auf der Stellgröße einen Schätzwert für die von der Handhabungsvorrichtung auf das Werkzeug ausgeübte Kraft zu ermitteln. Die Steuereinheit ist weiter dazu ausgebildet, einen Kontakt zwischen dem Werkzeug und der Oberfläche zu detektieren, wobei die Stellgröße basierend auf dem Schätzwert und einem Sollwert eingestellt wird, solange kein Kontakt detektiert wird, wohingegen die Stellgröße basierend auf der gemessenen Kraft und dem Sollwert eingestellt wird, solange ein Kontakt detektiert wird.

KRAFTGEREGELTE HANDHABUNGSVORRICHTUNG FÜR DIE ROBOTERGE- STÜTZTE OBERFLÄCHENBEARBEITUNG

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein eine kraftgeregelt Handhabungsvorrichtung (*handling device*) für die automatisierte, robotergestützte Oberflächenbearbeitung. Derartige Handhabungsvorrichtungen können insbesondere als Schnittstelle zwischen Manipulator (Roboter) und Werkzeugmaschine dienen.

HINTERGRUND

[0002] Bei der robotergestützten Oberflächenbearbeitung wird eine Werkzeugmaschine (z.B. eine Schleifmaschine, eine Bohrmaschine, eine Fräsmaschine, eine Poliermaschine und dgl.) von einem Manipulator, beispielsweise einem Industrieroboter, geführt. Dabei kann die Werkzeugmaschine auf unterschiedliche Weise mit dem sogenannten TCP (*Tool Center Point*) des Manipulators gekoppelt sein; der Manipulator kann in der Regel Position und Orientierung des TCP praktisch beliebig einstellen, um eine Werkzeugmaschine auf einer Trajektorie z.B. parallel zu einer Oberfläche eines Werkstücks zu bewegen. Industrieroboter sind üblicherweise positionsgeregelt, was eine präzise Bewegung des TCP entlang der gewünschten Trajektorie ermöglicht.

[0003] Um beim robotergestützten Schleifen, Polieren oder bei anderen Oberflächenbearbeitungsprozessen ein gutes Ergebnis zu erzielen, ist in vielen Anwendungen eine Regelung der Prozesskraft (z.B. Schleifkraft) nötig, was mit herkömmlichen Industrierobotern oft nur schwer mit hinreichender Genauigkeit zu realisieren ist. Die großen und schweren Armsegmente eines Industrieroboters besitzen eine zu große Massenträgheit, als dass ein Regler (*closed-loop controller*) rasch genug auf Schwankungen der Prozesskraft reagieren könnte. Um dieses Problem zu lösen, kann zwischen dem TCP des Manipulators und der Werkzeugmaschine ein im Vergleich zum Industrieroboter kleine (und leichte) Handhabungsvorrichtung angeordnet sein, die den TCP des Manipulators mit der Werkzeugmaschine koppelt. Die Handhabungsvorrichtung umfasst insbesondere einen Linearaktor und regelt während der Oberflächenbearbeitung lediglich die Prozesskraft (also die Anpresskraft zwischen Werkzeug und Werkstück), während der Manipulator die Werkzeugmaschine samt Linearaktor positionsgeregelt entlang der gewünschten Trajektorie bewegt.

Durch die Kraftregelung kann die Handhabungsvorrichtung mit Hilfe des Linearaktors Ungenauigkeiten in der Lage und der Form des zu bearbeitenden Werkstücks sowie auch Ungenauigkeiten der Trajektorie des Manipulators (innerhalb gewisser Grenzen) ausgleichen.

[0004] Bei vielen Oberflächenbearbeitungsprozessen ist die Qualität des Prozessergebnisses stark davon abhängig, ob die Prozesskraft während des Bearbeitungsprozesses auch innerhalb eines gewünschten, spezifizierten Bereichs bleibt. Beispielsweise kann bei einem Schleifprozess eine (auch nur kurzfristig) zu hohe Schleifkraft (Prozesskraft) das Werkstück stark beschädigen oder sogar zerstören und/oder hohe Reparaturkosten verursachen.

[0005] Der Erfinder hat sich die Aufgabe gestellt, eine verbesserte Handhabungsvorrichtung mit Kraftregelung zu entwickeln, die es ermöglicht, die Einhaltung der spezifizierten Prozesskraft weitgehend sicherzustellen.

ZUSAMMENFASSUNG

[0006] Die oben genannte Aufgabe wird durch die Vorrichtung gemäß Patentanspruch 1 und das Verfahren gemäß Anspruch 7 gelöst. Verschiedene Ausführungsformen und Weiterentwicklungen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche. Ein Ausführungsbeispiel betrifft eine Handhabungsvorrichtung (*handling apparatus*) mit einem Linearaktor, der zwischen einem ersten Flansch, der mit einem Manipulator verbindbar ist, und einem zweiten Flansch, an dem ein Werkzeug oder eine Werkzeugmaschine mit einem Werkzeug montierbar ist, wirkt. Der Linearaktor übt nach Maßgabe einer Stellgröße eine Kraft auf den zweiten Flansch oder einen Endanschlag aus. Die Vorrichtung umfasst weiter einen Kraftsensor, der zwischen dem zweiten Flansch und dem Werkzeug gekoppelt und dazu ausgebildet ist, bei Kontakt zwischen Werkzeug und einer Oberfläche eine von der Handhabungsvorrichtung auf das Werkzeug ausgeübte Kraft zu messen. Eine Steuereinheit weist einen Zustandsbeobachter auf, der dazu ausgebildet ist, basierend auf der Stellgröße einen Schätzwert für die von der Handhabungsvorrichtung auf das Werkzeug ausgeübte Kraft zu ermitteln. Die Steuereinheit ist weiter dazu ausgebildet, einen Kontakt zwischen dem Werkzeug und der Oberfläche zu detektieren, wobei die Stellgröße basierend auf dem Schätzwert und einem Sollwert eingestellt wird, solange kein Kontakt detektiert wird, wohingegen die Stellgröße basierend auf der gemessenen Kraft und dem Sollwert eingestellt wird, solange ein Kontakt detektiert wird.

[0007] Ein weiteres Ausführungsbeispiel betrifft ein Verfahren zum Steuern einer Handhabungsvorrichtung. Diese umfasst einen Linearaktor, der zwischen einem mit einem Manipulator verbindbaren ersten Flansch und einem zweiten Flansch, an dem ein Werkzeug oder eine Werkzeugmaschine mit einem Werkzeug montierbar ist, wirkt. Gemäß einem Ausführungsbeispiel umfasst das Verfahren das Ansteuern des Linearaktors mit einer Stellgröße, sodass dieser nach Maßgabe der Stellgröße eine Kraft auf den zweiten Flansch oder einen Endanschlag ausübt. Das Verfahren umfasst weiter das Detektieren eines Kontakts zwischen dem Werkzeug und einer Oberfläche sowie das Messen – bei Kontakt zwischen Werkzeug und einer Oberfläche – einer von der Handhabungsvorrichtung auf das Werkzeug ausgeübten Kraft mit Hilfe eines Kraftsensors, der zwischen dem zweiten Flansch und dem Werkzeug gekoppelt ist. Des Weiteren wird ein Schätzwert für die von der Handhabungsvorrichtung auf das Werkzeug ausgeübte Kraft basierend auf der Stellgröße ermittelt. Solange kein Kontakt detektiert wird, wird die Stellgröße basierend auf dem Schätzwert und einem Sollwert eingestellt, und solange ein Kontakt detektiert wird, wird die Stellgröße basierend auf der gemessenen Kraft und dem Sollwert eingestellt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0008] Verschiedene Implementierungen werden 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 den dargestellten Ausführungsbeispielen zugrunde liegenden Prinzipien darzustellen.

[0009] Figur 1 ist ein allgemeines Beispiel eines Systems zum robotergestützten Schleifen mit einem Industrieroboter, einer Handhabungsvorrichtung mit Kraftregelung und einer Schleifmaschine.

[0010] Figur 2 illustriert eine exemplarische Implementierung der Handhabungsvorrichtung (ohne die dazugehörige Steuereinheit).

[0011] Figur 3 illustriert ein Beispiel einer Steuereinheit für die Handhabungsvorrichtung, in der die Kraftregelung implementiert ist.

[0012] Figur 4 illustriert ein Beispiel eines Verfahrens zur Steuerung einer Handhabungsvorrichtung für die robotergestützte Oberflächenbearbeitung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0013] Bevor verschiedene Ausführungsbeispiele im Detail erläutert werden, wird zunächst ein allgemeines Beispiel einer robotergestützten Schleifvorrichtung beschrieben. Es versteht sich, dass die hier beschriebenen Konzepte auch auf andere Arten von Oberflächenbearbeitung (z.B. Polieren, Fräsen, Bohren, etc.) übertragbar und nicht auf Schleifen beschränkt sind.

[0014] Gemäß Fig. 1 umfasst eine robotergestützte Schleifvorrichtung einen Manipulator 80, beispielsweise einen Industrieroboter und eine Schleifmaschine 50 mit rotierendem Schleifwerkzeug 51. Die Schleifmaschine 50 ist mit dem sogenannten *Tool-Center-Point* (TCP) des Manipulators 1 über einen Linearaktor 100 gekoppelt, der allgemein als Handhabungsvorrichtung bezeichnet wird. Der TCP ist genau genommen kein Punkt, sondern ein Vektor und kann z.B. durch drei Raumkoordinaten (Position) und drei Winkel (Orientierung) beschrieben werden. In der Robotik werden zur Beschreibung der Lage des TCPs manchmal auch generalisierte Koordinaten (meist sechs Gelenkwinkel des Roboters) im Konfigurationsraum verwendet. Position und Orientierung des TCPs werden manchmal auch als „Pose“ bezeichnet. Die Position (inkl. Orientierung) des TCP als Funktion der Zeit definiert die Bewegung des Schleifwerkzeugs, die als Trajektorie bezeichnet wird. Als TCP wird oft der Mittelpunkt des Endeffektorflansches des Roboters definiert, was aber nicht notwendigerweise der Fall sein muss. Der TCP kann ein beliebiger Punkt sein (und theoretisch auch außerhalb des Roboters liegen), dessen Position und Orientierung vom Roboter einstellbar ist. Der TCP kann auch den Ursprung des Werkzeugkoordinatensystems definieren.

[0015] Im Falle eines Industrieroboters mit sechs Freiheitsgraden kann der Manipulator 80 aus vier Segmenten 82, 83, 84 und 85 aufgebaut sein, die jeweils über Gelenke G_{11} , G_{12} und G_{13} verbunden sind. Das erste Segment 82 ist dabei meist starr mit einem Fundament 81 verbunden (was jedoch nicht zwangsläufig der Fall sein muss). Das Gelenk G_{11} verbindet die Segmente 82 und 83. Das Gelenk G_{11} kann 2-achsig sein und eine Drehung des Segments 83 um eine horizontale Drehachse (Elevationswinkel) und eine vertikale Drehachse (Azimutwinkel) ermöglichen. Das Gelenk G_{12} verbindet die Segmente 83 und 84

und ermöglicht eine Schwenkbewegung des Segments 84 relativ zur Lage des Segments 83. Das Gelenk G_{13} verbindet die Segmente 84 und 85. Das Gelenk G_{13} kann 2-achsig sein und daher (ähnlich wie das Gelenk G_{11}) eine Schwenkbewegung in zwei Richtungen ermöglichen. Der TCP hat eine feste Relativposition zum Segment 85, wobei dieses üblicherweise noch ein Drehgelenk (nicht dargestellt) umfasst, welches eine Drehbewegung des am Segment 85 angeordneten Endeffektorflansches 86 um eine Längsachse A des Segments 85 ermöglicht (in Fig. 1 als strichpunktierte Linie eingezeichnet, entspricht in dem dargestellten Beispiel auch der Drehachse des Schleifwerkzeugs). Jeder Achse eines Gelenks ist ein Aktor (z.B. ein Elektromotor) zugeordnet, der eine Drehbewegung um die jeweilige Gelenksachse bewirken kann. Die Aktoren in den Gelenken werden von einer Robotersteuerung 70 gemäß einem Roboterprogramm angesteuert. Verschiedene Industrieroboter/Manipulatoren und dazugehörige Steuerungen sind an sich bekannt und werden daher hier nicht weiter erläutert.

[0016] Der Manipulator 80 ist üblicherweise positionsgeregt, d.h. die Robotersteuerung kann die Pose (Ort und Orientierung) des TCP festlegen und diesen entlang einer vordefinierten Trajektorie bewegen. In Fig. 1 ist die Längsachse des Segments 85, auf der der TCP liegt, mit A bezeichnet. Wenn der Linearaktor der Handhabungsvorrichtung 100 an einem Endanschlag anliegt, ist mit der Pose des TCPs auch die Pose der Schleifmaschine 50 (und auch der Schleifscheibe 51) definiert. Wie eingangs bereits erwähnt, dient die Handhabungsvorrichtung 100 dazu, während des Schleifprozesses die Kontaktkraft (Prozesskraft) zwischen Werkzeug (z.B. Schleifscheibe 51) und Werkstück 60 auf einen gewünschten Wert einzustellen. Eine direkte Kraftregelung durch den Manipulator 80 ist für Schleifanwendungen in der Regel zu ungenau, da durch die hohe Massenträgheit der Segmente 83 bis 85 des Manipulators 80 eine schnelle Kompensation von Kraftspitzen (z.B. beim Aufsetzen des Schleifwerkzeugs auf das Werkstück 60) mit herkömmlichen Manipulatoren praktisch nicht möglich ist. Aus diesem Grund ist die Robotersteuerung 70 dazu ausgebildet, die Pose (Position und Orientierung) des TCP des Manipulators 80 zu regeln, während die Kraftregelung ausschließlich mit Hilfe der Handhabungsvorrichtung 100 bewerkstelligt wird.

[0017] Wie bereits erwähnt, kann während des Schleifprozesses die Kontaktkraft F_K zwischen Schleifwerkzeug (Schleifscheibe 51 der Schleifmaschine 50) und Werkstück 60 mit Hilfe der Handhabungsvorrichtung 100 und einer Kraftregelung (die beispielsweise in der Steuerung 70 implementiert sein kann) so eingestellt werden, dass die Kontaktkraft F_K (in

Richtung der Längsachse A) zwischen Schleifscheibe 51 und Werkstück 60 einem vorgebaren Sollwert entspricht. Die Kontaktkraft F_K ist dabei eine Reaktion auf die Aktorkraft F_A , mit der die Handhabungsvorrichtung 100 auf die Werkstückoberfläche drückt. Bei fehlendem Kontakt zwischen Werkstück 60 und Werkzeug 51 fährt der in der Handhabungsvorrichtung 100 enthaltene Aktor (siehe auch Fig. 2) aufgrund der fehlenden Kontaktkraft am Werkstück 60 gegen einen Endanschlag (nicht dargestellt da im Aktor 2 integriert) und drückt mit einer definierten Kraft gegen diesen. Die Kraftregelung ist dabei durchgehend aktiv. In dieser Situation (kein Kontakt) ist die Aktorauslenkung daher maximal und die Handhabungsvorrichtung befindet sich in einer Endposition. Die definierte Kraft, mit der der (Linear-) Aktor (der in der Handhabungsvorrichtung 100 enthalten ist) gegen den Endanschlag drückt, kann sehr klein sein oder (theoretisch) sogar auf null geregelt werden, um ein möglichst sanftes Kontaktieren der Werkstückoberfläche zu ermöglichen.

[0018] Die Positionsregelung des Manipulators 80 (die ebenfalls in der Steuerung 70 implementiert sein kann) kann vollkommen unabhängig von der Kraftregelung der Handhabungsvorrichtung 100 arbeiten. Letztere ist nicht verantwortlich für die Positionierung der Schleifmaschine 50, sondern lediglich für das Einstellen und Aufrechterhalten der erwünschten Kontaktkraft F_K während des Schleifprozesses und zur Erkennung von Kontakt zwischen Werkzeug 51 und Werkstück 60. Ein Kontakt kann z.B. in einfacher Weise dadurch erkannt werden, dass der in der Handhabungsvorrichtung enthaltene Linearaktor sich aus der Endposition herausbewegt hat (Aktorauslenkung a ist kleiner als die maximale Auslenkung a_{MAX} am Endanschlag).

[0019] In Fig. 2 ist ein Beispiel der Handhabungsvorrichtung 100 schematisch dargestellt. Teile, die einem Fachmann bekannt und für die folgende Diskussion nicht notwendig sind (wie z.B. Ventile, Linearführungen, etc.) wurden in Fig. 2 weggelassen, um die Darstellung nicht zu verkomplizieren. Der in der Handhabungsvorrichtung 100 enthaltene Aktor 153 kann ein pneumatischer Aktor sein, z.B. ein doppeltwirkender Pneumatikzylinder. Jedoch sind auch andere pneumatische Aktoren anwendbar wie z.B. Balgzylinder und Luftmuskel. Als Alternative kommen auch elektrische Direktantriebe (getriebelos) in Betracht.

[0020] Es versteht sich, dass die Wirkrichtung des Aktors/der Handhabungsvorrichtung 100 und die Drehachse der Schleifmaschine 50 nicht notwendigerweise mit der Längsachse A des Segments 85 des Manipulators 80 zusammenfallen müssen. Im Falle eines

pneumatischen Aktors kann die Kraftregelung in an sich bekannter Weise mit Hilfe eines Regelventils, eines Reglers (z.B. implementiert in der Steuerung 70) und eines Druckluftspeichers oder Kompressors realisiert werden. Da für die Berücksichtigung der Schwerkraft (d.h. der Gewichtskraft der Schleifmaschine 50) die Neigung zur Lotrechten relevant ist, kann der Aktor 2 einen Neigungssensor (nicht dargestellt) enthalten oder diese Information kann basierend auf den Gelenkwinkeln des Manipulators 80 ermittelt werden. Die ermittelte Neigung wird von dem Kraftregler berücksichtigt (siehe auch Erläuterungen zu Fig. 3). Die Handhabungsvorrichtung 100 ermöglicht nicht nur eine gewisse mechanische Entkopplung zwischen Manipulator 80 und Werkstück 60, sondern ist auch in der Lage, Ungenauigkeiten in der Positionierung des TCP auszugleichen.

[0021] Die Handhabungsvorrichtung umfasst neben dem Linearaktor 153 (Pneumatikzylinder) einen Abstandssensor (*displacement sensor*), der beispielsweise als induktiver Sensor oder als Potentiometer ausgebildet sein kann. Im Wesentlichen ist der Abstandssensor dazu ausgebildet, die Auslenkung (*displacement*) des Linearaktors 153 zu messen. Bei einer maximalen Auslenkung $a=a_{MAX}$ drückt der Linearaktor gegen einen Endanschlag. Der Linearaktor kann die beiden Flansche 101 und 102 koppeln. Die Veränderung des Abstands zwischen den beiden Flanschen 101 und 102 entspricht der Veränderung der Auslenkung des Linearaktors 153. Der (in Fig. 2) obere Flansch 102 kann (z.B. mittels Schrauben) mit dem Endeffektorflansch eines Roboters verbunden sein (siehe Fig. 1, Endeffektorflansch 86). An dem unteren Flansch 101 kann (direkt oder indirekt) die Werkzeugmaschine 50 montiert sein., wobei in dem dargestellten Beispiel zwischen der Handhabungsvorrichtung und der Werkzeugmaschine 50 ein Kraftsensor 150 angeordnet ist. Dieser Kraftsensor 150 kann z.B. als Kraftmessdose (*load cell*) ausgebildet sein und ermöglicht die direkt Messung der Kraft, die zwischen der Handhabungsvorrichtung und der Werkzeugmaschine 50 wirkt.

[0022] Ein Faltenbalg 121 kann die Teile innerhalb der Handhabungsvorrichtung gegen Staub und dergleichen schützen, und gleichzeitig eine Bewegung in Wirkrichtung des Pneumatikzylinders 153 ermöglichen. Dabei wirkt der Faltenbalg 121 wie eine Feder, deren Kennlinie bei der Kraftregelung berücksichtigt werden kann. Die von dem Faltenbalg 121 bewirkte (Feder-) Kraftkomponente kann beispielsweise basierend auf der vom Abstandssensor 151 gemessenen Auslenkung a ermittelt werden. Im einfachsten Fall ist die von dem Faltenbalg 121 bewirkte (Feder-) Kraftkomponente proportional zur Auslenkung

(bei linearer Federcharakteristik). In manchen Ausführungsbeispielen wird die tatsächliche Federcharakteristik des Faltenbalgs 121 mittels Kalibrationsmessungen ermittelt.

[0023] Zusätzlich zu der direkten Kraftmessung durch die Kraftmessdose 150 erfolgt eine indirekte Kraftmessung durch Messung des Drucks p im Pneumatikzylinder 153 mit Hilfe eines Drucksensors 152, der pneumatisch mit einer Druckluftleitung des Pneumatikzylinders 153 gekoppelt sein kann. Die Kraft erhält man dann durch Multiplikation des Drucks p mit der im Zylinder wirksamen Kolbenfläche A ($F_A = p \cdot A$). Wird statt eines pneumatischen Aktors ein elektromechanischer Aktor eingesetzt, kann die Kraft auch aus der Stromaufnahme des elektromechanischen Aktors ermittelt werden. Statt einer Druckmessung wird in diesem Fall eine Strommessung durchgeführt. Aus dem Strommesswert kann wiederum die Aktorkraft berechnet werden

[0024] Bei bekannten Systemen ist in der Regel keine redundante Kraftmessung durch einen direkten Kraftsensor wie eine Kraftmessdose vorgesehen, da bei geregelten pneumatischen Systemen ohnehin der Zylinderdruck (oder bei elektromechanischen Aktoren der Strom) als Messwert vorliegt. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu erwähnen, dass bei dem hier beschriebenen Beispiel die direkte Kraftmessung (Kraft F_M) durch den Kraftsensor 150 nicht einfach einen redundanten Messwert zu der indirekten Kraftmessung (Kraft $p \cdot A$) liefert. Würde man die indirekte Kraftmessung (mittels Druck- oder Strommessung) durch eine direkte Kraftmessung mittels Kraftmessdose ersetzen wollen, dann müsste der jeweilige Kraftsensor so angeordnet sein, dass er die vom Aktor (Pneumatikzylinder) auf den Flansch 101 der Handhabungsvorrichtung 100 ausgeübte Aktorkraft misst. Bei einer Blockierung der Bewegung des Flanschs 101 (relativ zum Flansch 102) beispielsweise durch einen Endanschlag, würde in diesem Fall der Kraftsensor die gegen den Endanschlag wirkende Aktorkraft messen, auch wenn kein Kontakt mit dem Werkstück vorliegt. Dies ist aber bei dem Beispiel aus Fig. 2 nicht der Fall. Der Kraftsensor 150 ist nicht innerhalb der Handhabungsvorrichtung 100 (zwischen Pneumatikzylinder 153 und Flansch 101), sondern außen am Flansch 101, sodass der Kraftsensor nur die Kraft F_M misst, die zwischen Werkzeugmaschine 50 und Handhabungsvorrichtung wirkt. Bei fehlendem Kontakt mit dem Werkstück würde in dem dargestellten Beispiel der Kraftsensor 150 nur die Gewichtskraft der Werkzeugmaschine 50 messen, unabhängig davon, ob und mit welcher Kraft F_A der Pneumatikzylinder 153 gegen den Endanschlag drückt. Das heißt, in den hier beschriebenen Beispielen sind – bei fehlendem Kontakt – die direkte

Kraftmessung (Kraft F_M) und die indirekte Kraftmessung (Kraft $p \cdot A$) nicht redundant, sondern es werden prinzipiell unterschiedliche Kräfte gemessen.

[0025] Ein Zusammenhang zwischen der durch die indirekte Kraftmessung ermittelte Aktorkraft F_A ($F_A = p \cdot A$ im Falle eines Pneumatikzylinders) und der direkt gemessenen Kraft F_M kann nur bei vorhandenem Kontakt zwischen Werkstück und Werkzeugmaschine formuliert werden. Nur in dieser Situation (Kontakt vorhanden) wirkt eine Kontaktkraft F_K (Prozesskraft) auf die Handhabungsvorrichtung zurück und es gilt $F_K = F_M + F_G$, wobei F_G die auf die Werkstückoberfläche wirkende Gewichtskraft der Werkzeugmaschine und F_M die direkt gemessene Kraft, mit der die Handhabungsvorrichtung auf die Werkzeugmaschine drückt, bezeichnet. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Gewichtskraft F_G auch negativ werden kann, wenn die Schleifmaschine kopfüber betrieben wird. Bei Kontakt gilt für die direkt gemessene Kraft weiter $F_M = F_A + \Delta F = p \cdot A + \Delta F$, wobei der Offset ΔF sämtliche Störkräfte (z.B. Reibung, Hystereseeffekte, etc.) beinhaltet. Für die Kontaktkraft/Prozesskraft gilt bei Kontakt demnach $F_K = F_A + F_G + \Delta F = F_M + F_G$, wobei der vom Zustand der Handhabungsvorrichtung abhängige Offset ΔF im Betrieb ermittelt werden kann (z.B. basierend auf mathematischen Modellen und/oder Kalibrationsmessungen).

[0026] Das Blockschaltbild aus Fig. 3 zeigt ein Beispiel eine Steuereinheit, die zum Betrieb der Handhabungsvorrichtung 100 verwendet werden kann. Die Steuereinheit aus Fig. 3 umfasst einen Zustandsbeobachter 160 (*state observer*), auch Zustandsschätzer (*state estimator*) genannt, dem die Soll- oder Ist-Stellgröße (*controlled variable*) zugeführt wird, welche im vorliegenden Beispiel den Sollwert oder den gemessenen Istwert des Zylinderdrucks repräsentiert. Der Zustandsbeobachter 160 empfängt des Weiteren Sensordaten (z.B. die gemessene Auslenkung a der Handhabungsvorrichtung 100, die Beschleunigung der Handhabungsvorrichtung, die Neigung der Handhabungsvorrichtung zur Lotrechten, etc.) sowie Systemparameter (z.B. das Gewicht der an der Handhabungsvorrichtung montierten Werkzeugmaschine) und ist dazu ausgebildet, aus den zugeführten Informationen (Sensordaten und Stellgröße) einen Zustand der Handhabungsvorrichtung zu schätzen, insbesondere die effektiv vom Aktor (Pneumatikzylinder) bereitgestellte Kraft $F_A + \Delta F$ (geschätzte Ist-Prozesskraft) die entweder auf den Endanschlag (bei fehlendem Kontakt) oder auf das Werkstück (bei Kontakt) wirkt. Für die Zustandsschätzung kann der Zustandsbeobachter mathematische Modelle beinhalten, die das physikalische Verhalten der Handhabungsvorrichtung modellieren (z.B. Federkennlinie des Faltenbalgs, Reibung, etc.).

[0027] Der Zustandsbeobachter 160 ist weiter dazu ausgebildet, einen Kontakt zwischen Werkzeugmaschine und Werkzeug zu detektieren und zu signalisieren. Da bei fehlendem Kontakt der Aktor (Pneumatikzylinder) gegen seinen Endanschlag drückt, kann ein Kontakt z.B. allein dadurch detektiert werden, dass der Aktor sich vom Endanschlag weg bewegt (Auslenkung a kleiner als die Maximalauslenkung a_{MAX} am Endanschlag).

[0028] Eine weitere Komponente der Steuereinheit aus Fig. 3 ist die Prozesssteuerung und -überwachungseinheit 161 (*process controller and monitoring unit*). Hier findet die Regelung (*regulation*) der Prozesskraft statt. Dazu empfängt die Prozesssteuerung und -überwachungseinheit 161 die geschätzte Ist-Prozesskraft und Information bezüglich Kontakt vom Zustandsbeobachter 160 sowie Systemparameter (z.B. Gewicht der Werkzeugmaschine 50), die Soll-Prozesskraft F_S und die vom Kraftsensor 150 direkt gemessene Ist-Prozesskraft F_M , die wie oben besprochen jedoch nur bei vorhandenem Kontakt eine sinnvolle Messgröße dargestellt. Basierend auf Soll-Prozesskraft F_S und der direkt gemessenen und/oder geschätzten Ist-Kraft F_M oder $F_A + \Delta F$ und unter Berücksichtigung der Gewichtskraft F_G wird mit Hilfe eines Regelalgorithmus die Stellgröße (*controlled variable*) berechnet, mit der der Aktor angesteuert wird (bei einem Pneumatikaktor ist das wie erwähnt der Zylinderdruck p). Geeignete Regelalgorithmen sind an sich bekannt und werden daher hier nicht weiter diskutiert. Bei einem theoretischen Regelfehler (*control deviation*) von null wird die Stellgröße (z.B. ein Druck bei pneumatischen Aktoren, ein Aktorstrom bei elektromechanischen Aktoren) so eingestellt, dass bei Kontakt für die Prozesskraft F_K folgendes gilt: $F_K = F_M + F_G = F_S$. Das heißt, die Prozesskraft (Kontaktkraft) entspricht der (ggf. variierenden) Soll-Kraft.

[0029] Die Prozesssteuerung und -überwachungseinheit 161 ist weiter dazu ausgebildet die „Quelle“ für die Ist-Prozesskraft (Kraftsensor 150, Zustandsbeobachter 160) abhängig davon auszuwählen, ob ein Kontakt detektiert wurde oder nicht. Bei fehlendem Kontakt wird der Zustandsbeobachter 160 ausgewählt und bei detektiertem Kontakt der Kraftsensor 150. Idealerweise müssten beide Quellen – bei detektiertem Kontakt – denselben Kraftwert liefern, jedoch fließen in den geschätzten Wert $F_A + \Delta F$ durch Kalibration bestimmte Einflussparameter ein, die sich mit der Zeit verändern können, wohingegen der direkt gemessene Wert F_M immer die tatsächliche Kraft misst (vorausgesetzt der Kraftsensor 150 funktioniert ordnungsgemäß).

[0030] *Plausibilitätsprüfung*: Die Prozesssteuerung und -überwachungseinheit 161 kann weiter dazu ausgebildet sein, während eines Oberflächenbearbeitungsprozesses (d.h. bei Kontakt) basierend auf dem direkt gemessenen Kraftwert F_M und dem vom Zustandsbeobachter gelieferten Kraftwert $F_{A+\Delta F}$ eine Plausibilitätsprüfung durchzuführen. Dazu kann die Prozesssteuerung und -überwachungseinheit 161 die beiden Werten $F_{A+\Delta F}$ und F_M vergleichen, und bei Abweichungen z.B. einen Fehler melden. In manchen Situationen ist es sogar möglich basierend auf der Abweichung zwischen den beiden Werten $F_{A+\Delta F}$ und F_M und deren zeitlichen Verlauf, und ggf. unter Berücksichtigung anderer Messwerte wie z.B. die gemessene Auslenkung a eine (wahrscheinliche) Ursache für die Abweichung zu ermitteln. Wenn beispielsweise der direkt gemessene Kraftwert F_M nicht mehr dem vom Zustandsbeobachter geschätzten Wert folgt, ist eine wahrscheinliche Ursache dafür, dass die Linearführung in der Handhabungsvorrichtung klemmt oder die Reibung stark erhöht ist. Folgt der direkt gemessene Wert F_M dem geschätzten Wert $F_{A+\Delta F}$ mit einer kleineren Abweichung, kann das darauf hindeuten, dass die Reibung in dem Pneumatikzylinder (Aktor 153) oder der Linearführung (nicht dargestellt) leicht erhöht ist und eine Wartung durchgeführt werden soll.

[0031] Im Folgenden werden einigen Aspekte und Merkmale der hier beschriebenen Ausführungsbeispiele zusammengefasst. Es versteht sich, dass das Folgende keine abschließende Aufzählung, sondern lediglich eine exemplarische Zusammenfassung darstellt. Die Ausführungsbeispiele betreffen ein System und ein Verfahren zum Steuern einer Handhabungsvorrichtung mit einem ersten und einem zweiten Flansch und mit einem Linearaktor, der zwischen dem ersten Flansch und dem zweiten Flansch wirkt. Der erste Flansch ist im Betrieb an einem Manipulator (z.B. an dessen Endeffektorflansch, vgl. Fig. 1) montiert, und an dem zweiten Flansch ist im Betrieb ein Werkzeug (oder eine Werkzeugmaschine mit einem Werkzeug) montiert. Der Linearaktor kann nach Maßgabe einer Stellgröße eine Kraft auf den zweiten Flansch ausüben, während er sich an dem ersten Flansch abstützt (vgl. Fig. 2, Flansche 101 und 102, Linearaktor 152). Im Falle eines pneumatischen Aktors (Pneumatikzylinder) ist die Stellgröße ein Luftdruck, im Falle eines elektromechanischen Aktors kann die Stellgröße der durch den Aktor fließende Strom sein.

[0032] In einem Ausführungsbeispiel ist ein Kraftsensor zwischen dem zweiten Flansch und dem Werkzeug angeordnet, sodass der Kraftsensor bei Kontakt zwischen Werkzeug und einer Oberfläche eine von der Handhabungsvorrichtung auf das Werkzeug ausgeübte

Kraft F_M misst. Die Kontaktkraft zwischen Werkzeug und Oberfläche entspricht einer Überlagerung der Kraft F_M und der (von der Winkelstellung abhängigen) Gewichtskraft F_G , welche das Gewicht von Werkzeugmaschine und Werkzeug auf die Oberfläche ausübt.

[0033] Ohne Kontakt, hängt die Werkzeugmaschine an der Handhabungsvorrichtung und der Kraftsensor misst lediglich deren Gewichtskraft F_G , während der Linearaktor (kraftregelt) gegen einen Endanschlag drückt. In dieser Situation ist der erwähnte Kraftsensor nicht für die Kraftregelung verwendbar. Daher wird mit einem Zustandsbeobachter, der z.B. in einer Steuereinheit implementiert sein kann, basierend auf der Stellgröße (z.B. Soll-druck oder Ist-Druck) ein Schätzwert für die von dem Linearaktor bereitgestellte Kraft $F_A+\Delta F$ ermittelt. Die Steuereinheit kann auch dazu ausgebildet sein, einen Kontakt zwischen Werkzeug und einer Oberfläche zu detektieren. Des Weiteren ist die die Steuereinheit dazu ausgebildet, die Stellgröße (z.B. Druck p) für den Linearaktor basierend auf dem Schätzwert $F_A+\Delta F$ und einem Sollwert einzustellen, wenn kein Kontakt detektiert wird, und die Stellgröße basierend auf der gemessenen Kraft F_M und dem Sollwert einzustellen, wenn (sobald uns solange) ein Kontakt detektiert wird. Das heißt, die für die Kraftregelung verwendete Kraftinformation hängt davon ab, ob ein Kontakt detektiert wird oder nicht.

[0034] Ein Beispiel des hier beschriebenen Konzepts wird im Folgenden anhand des Flussdiagramms aus Fig. 4 zusammengefasst. Fig. 4 betrifft ein Verfahren zum Steuern einer Handhabungsvorrichtung mit einem Linearaktor (siehe Fig. 2, Pneumatikzylinder 154), der zwischen einem mit einem Manipulator verbindbaren ersten Flansch (siehe Fig. 1, Flansch 102) und einem zweiten Flansch (siehe Fig. 1, Flansch 101) wirkt, an dem ein Werkzeug oder eine Werkzeugmaschine mit einem Werkzeug montierbar ist. Das Verfahren umfasst das Ansteuern des Linearaktors mit einer Stellgröße (z.B. einem Luftdruck p), sodass dieser (nach Maßgabe der Stellgröße) eine Kraft auf den zweiten Flansch (bei Kontakt zwischen Werkzeug und Oberfläche) oder auf einen Endanschlag (bei fehlendem Kontakt) ausübt (siehe Fig. 4, Schritt S1). Das Verfahren umfasst weiter der Detektieren eines Kontakts zwischen Werkzeug und Oberfläche (siehe Fig. 4, Schritt S2) sowie – bei Kontakt zwischen Werkzeug und Oberfläche – das Messen einer von der Handhabungsvorrichtung auf das Werkzeug ausgeübten Kraft F_M mit Hilfe eines Kraftsensors, der mechanisch zwischen dem zweiten Flansch und das Werkzeug gekoppelt ist (siehe Fig. 4, Schritt S3).

[0035] Das Verfahren umfasst weiter (mit oder ohne Kontakt zur Oberfläche) das Ermitteln eines Schätzwerts $F_A+\Delta F$ für die von der Handhabungsvorrichtung auf das Werkzeug

ausgeübte Kraft F_M basierend auf der Stellgröße (siehe Fig. 4, Schritt S4). Die Stellgröße wird eingestellt basierend auf dem Schätzwert und einem Sollwert, wenn und solange kein Kontakt detektiert wird (siehe Fig. 4, Schritt S6), und basierend auf der gemessenen Kraft und dem Sollwert, wenn und solange ein Kontakt detektiert wird (siehe Fig. 4, Schritt S5). Es versteht sich, dass die in Fig. 4 gezeigten Verfahrensschritte teilweise parallel ablaufen. Die Pfeile in dem Flussdiagramm implizieren keine zwingende zeitliche Reihenfolge.

[0036] Insbesondere wird der Schritt S4 unabhängig davon ausgeführt, ob ein Kontakt detektiert wurde oder nicht. Bei fehlendem Kontakt wird der Schätzwert für die Kraft benötigt, um die Kraft einstellen zu können, mit der der Linearaktor auf den Endanschlag drückt. Für einen sanften Kontakt sollte diese Kraft so klein wie möglich sein (idealerweise null oder einige wenige Newton). Wenn das Werkzeug die Oberfläche berührt, bewegt sich der der Aktor vom Endanschlag weg und die Kraftregelung kann dann basierend auf der direkt gemessenen Kraft F_M erfolgen. Nichtsdestotrotz wird zur Validierung des Prozesses und zur Fehlererkennung auch während des Oberflächenbearbeitungsprozesses (bei Kontakt) der Schätzwert $F_A + \Delta F$ ermittelt. Vor einem Kontakt drückt der Aktor mit einer möglichst kleinen (Minimal-) Kraft auf den Endanschlag. Theoretisch kann diese Minimalkraft auf null Newton geregelt werden. In der Praxis werden Werte von unter 10 Newton oder sogar unter 1 Newton verwendet, um die Oberfläche sehr sanft kontaktieren zu können. Sobald ein Kontakt besteht, kann die Sollkraft mit einer definierten Rate erhöht werden, bis die gewünschte Prozesskraft (Schleifkraft) erreicht ist.

[0037] In die Ermittlung des Schätzwertes (vgl. Fig. 3, Zustandsbeobachter 160) können neben der Stellgröße (Druck im Falle eines pneumatischen Aktors) weitere Sensordaten betreffend den Zustand des Aktors und/oder der Handhabungsvorrichtung einfließen wie z.B. die Auslenkung des Aktors, welche z.B. mit einem Potentiometer oder einem induktiven Wegsensor (*displacement sensor*), der mit dem Aktor gekoppelt ist, gemessen werden kann. Die Gewichtskraft $F_G = m \cdot g \cdot \cos(\theta)$ kann beispielsweise bei der Kraftregelung (siehe Fig. 3, Prozesssteuerung 161) berücksichtigt werden, indem beispielsweise die Gewichtskraft F_G von der Sollkraft subtrahiert wird (m bezeichnet die Masse der Werkzeugmaschine samt Werkzeug, g die Erdbeschleunigung und θ die Winkelabweichung von der Lotrechten (Kippwinkel, *tilt*)). Alternativ kann die Gewichtskraft auch bei der direkten und indirekten Kraftmessung berücksichtigt werden. Der Kippwinkel θ kann entweder gemessen werden

oder aus den (verallgemeinerten) Koordinaten des TCP des Manipulators berechnet werden. Die Robotersteuerung „kennt“ ja die Winkelstellung des TCPs und damit auch die Winkelstellung der Handhabungsvorrichtung und des Werkzeugs.

[0038] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist es auch möglich, automatisiert die Prozessvalidität eines Oberflächenbearbeitungsprozesses zu prüfen und am Ende des Prozesses zu bestätigen. Dazu kann beispielsweise während eines Oberflächenbearbeitungsprozesses die (mittels Kraftsensor direkt) gemessenen Kraft F_M und den (vom Zustandsbeobachter ermittelten) Schätzwert $F_A + \Delta F$ verglichen werden und eventuellen Abweichungen zwischen Messwert und Schätzwert für einen bestimmten Oberflächenbearbeitungsprozess protokolliert werden. Am Ende des Prozesses oder bereites während des Prozesses können die protokollierten Daten ausgewertet werden, um die die Validität des Prozesses zu überprüfen und/oder ggf. Fehler anzuzeigen. Dazu können beispielsweise basierend auf Abweichungen zwischen direkt gemessener Kraft und Schätzwert (und ggf. weiteren Sensordaten wie z.B. die Aktorauslenkung) konkrete Fehler ermittelt werden. Wenn z.B. bei einer Erhöhung des Schätzwertes die gemessene Kraft nicht gleichermaßen ansteigt, während Kontakt mit der Oberfläche besteht, dann ist es sehr wahrscheinlich, dass eine (z.B. parallel zum Aktor angeordnete) Linearführung oder der Aktor selbst feststeckt oder zumindest die Reibung im Linearaktor oder in der Linearführung ungewöhnlich hoch ist. In diesem Fall kann beim nächsten Kontaktieren der Oberfläche ein sanfter kontakt nicht mehr garantiert werden. Zusätzlich oder alternativ können auch Abweichungen zwischen dem Kraft Sollwert und der gemessenen Kraft ausgewertet werden.

PATENTANSPRÜCHE

1. Ein System, das folgendes umfasst:

eine Handhabungsvorrichtung mit einem Linearaktor (153), der zwischen einem ersten Flansch (102), der mit einem Manipulator verbindbar ist, und einem zweiten Flansch (101), an dem ein Werkzeug oder eine Werkzeugmaschine mit einem Werkzeug montierbar ist, wirkt, wobei der Linearaktor (153) nach Maßgabe einer Stellgröße (p) eine Kraft auf den zweiten Flansch (101) oder einen Endanschlag ausübt;

einen Kraftsensor, der zwischen dem zweiten Flansch (101) und das Werkzeug gekoppelt und dazu ausgebildet ist, bei Kontakt zwischen Werkzeug und einer Oberfläche eine von der Handhabungsvorrichtung auf das Werkzeug ausgeübte Kraft (F_M) zu messen;

eine Steuereinheit mit einem Zustandsbeobachter (160), der dazu ausgebildet ist, basierend auf der Stellgröße (p) einen Schätzwert ($F_A + \Delta F$) für die von der Handhabungsvorrichtung auf das Werkzeug ausgeübte Kraft (F_M) zu ermitteln;

wobei die Steuereinheit weiter dazu ausgebildet ist:

einen Kontakt zwischen dem Werkzeug und der Oberfläche zu detektieren, die Stellgröße (p) basierend auf dem Schätzwert ($F_A + \Delta F$) und einem Sollwert einzustellen, solange kein Kontakt detektiert wird, und

die Stellgröße (p) basierend auf der gemessenen Kraft (F_M) und dem Sollwert einzustellen, solange ein Kontakt detektiert wird.

2. Das System gemäß Anspruch 1,

wobei der Sollwert variabel ist und nach Detektion des Kontakts ausgehend von einem Minimalwert erhöht wird.

3. Das System gemäß Anspruch 1 oder 2,

wobei der Linearaktor (153) gegen einen Endanschlag drückt, solange kein Kontakt detektiert wird.

4. Das System gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3,

wobei die Steuereinheit weiter dazu ausgebildet ist, solange Kontakt detektiert wird, die gemessene Kraft (F_M) und den Schätzwert ($F_A + \Delta F$) zu vergleichen und basierend auf einer eventuellen Abweichung einen Fehler anzuzeigen oder zu protokollieren.

5. Das System gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3,

wobei die Steuereinheit weiter dazu ausgebildet ist, solange Kontakt detektiert und ein Oberflächenbearbeitungsprozess durchgeführt wird, basierend auf der gemessenen Kraft (F_M) und dem Schätzwert ($F_A + \Delta F$) die Prozessvalidität zu überprüfen und, sofern die Überprüfung fehlschlägt, mögliche Fehlerquellen zu ermitteln.

6. Das System gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5,

wobei der Zustandsbeobachter (160) dazu ausgebildet ist, den Schätzwert ($F_A + \Delta F$) basierend auf der Stellgröße (p) und auf weiteren Sensordaten betreffend den Zustand des Linearaktors (153), insbesondere die Aktorauslenkung, zu ermitteln.

7. Ein Verfahren zum Steuern einer Handhabungsvorrichtung mit einem Linearaktor (154), der zwischen einem mit einem Manipulator verbindbaren ersten Flansch (102) und einem zweiten Flansch (101), an dem ein Werkzeug oder eine Werkzeugmaschine mit einem Werkzeug montierbar ist, wirkt; das Verfahren umfasst folgendes:

Ansteuern des Linearaktors (153) mit einer Stellgröße (p), sodass dieser nach Maßgabe der Stellgröße (p) eine Kraft auf den zweiten Flansch (101) oder einen Endanschlag ausübt;

Detektieren eines Kontakts zwischen dem Werkzeug und einer Oberfläche;

Messen – bei Kontakt zwischen Werkzeug und einer Oberfläche – einer von der Handhabungsvorrichtung auf das Werkzeug ausgeübten Kraft (F_M) mit Hilfe eines Kraftsensors, der zwischen dem zweiten Flansch (101) und dem Werkzeug gekoppelt ist;

Ermitteln eines Schätzwerts ($F_A + \Delta F$) für die von der Handhabungsvorrichtung auf das Werkzeug ausgeübte Kraft (F_M) basierend auf der Stellgröße (p);

Einstellen der Stellgröße (p) basierend auf dem Schätzwert ($F_A + \Delta F$) und einem Sollwert, solange kein Kontakt detektiert wird, und Einstellen der Stellgröße (p) basierend auf der gemessenen Kraft (F_M) und dem Sollwert, solange ein Kontakt detektiert wird.

8. Das Verfahren gemäß Anspruch 7,

wobei beim Ermitteln des Schätzwertes ($F_A + \Delta F$) weitere Sensordaten bezüglich den Zustand des Linearaktors (153), insbesondere eine Auslenkung des Linearaktors berücksichtigt werden.

9. Das Verfahren gemäß Anspruch 7 oder 8,

wobei ein Kontakt zwischen dem Werkzeug und einer Oberfläche detektiert wird, wenn der Linearaktor sich von dem Endanschlag wegbewegt.

10. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 7 bis 9,

wobei während eines Oberflächenbearbeitungsprozesses das Werkzeug die Oberfläche berührt, basierend auf dem ermittelten Schätzwert und weiter basierend auf der gemessenen Kraft (F_M) die Validität des Oberflächenbearbeitungsprozesses geprüft wird, und ggf. bei Abweichungen zwischen der gemessenen Kraft (F_M) und dem Schätzwert eine Fehlerursache ermittelt wird.

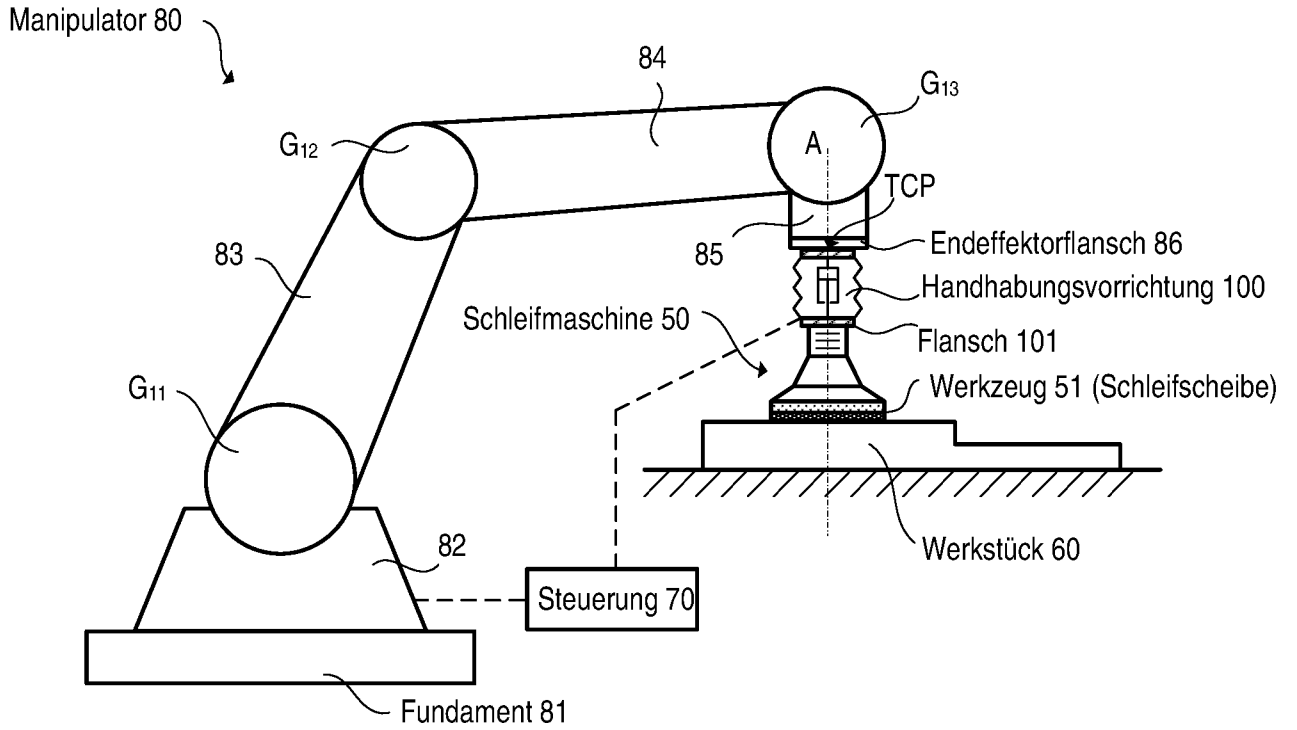


Fig. 1

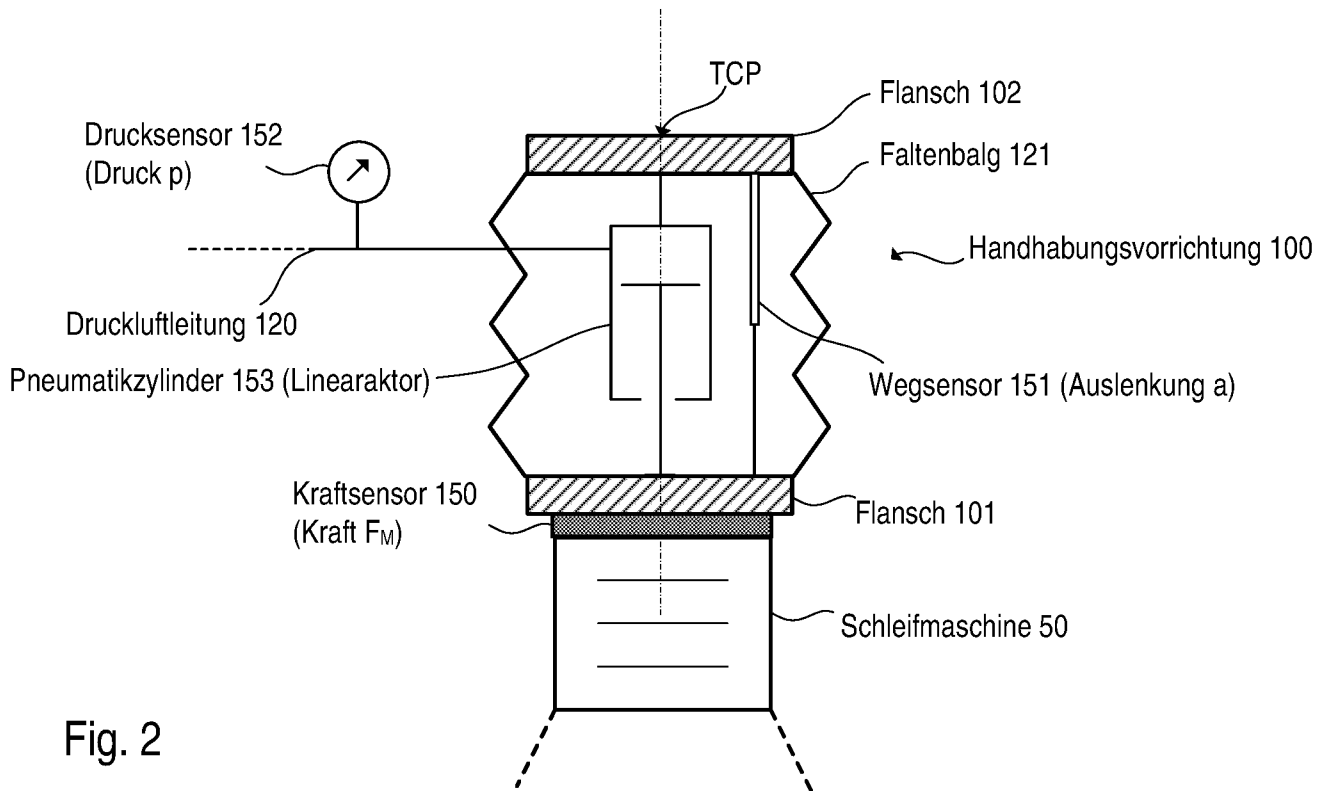


Fig. 2

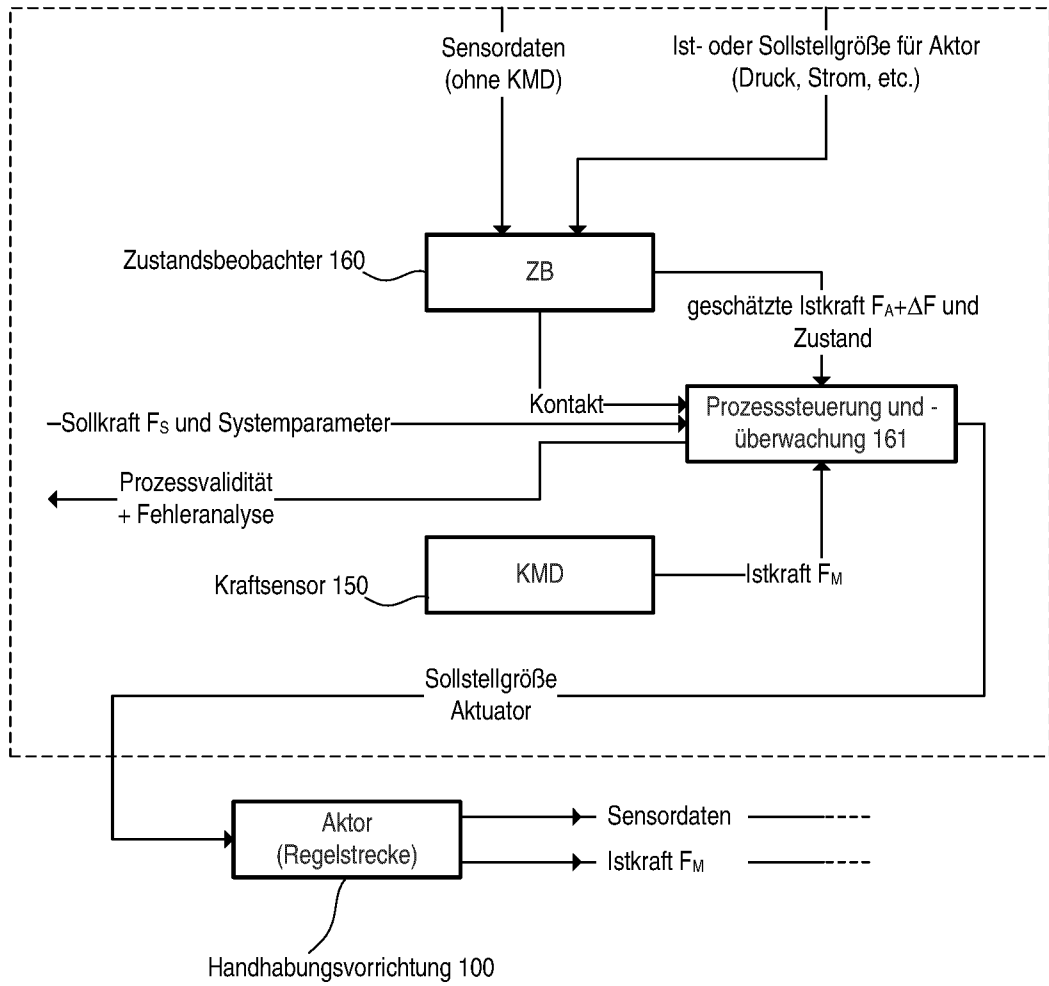


Fig. 3

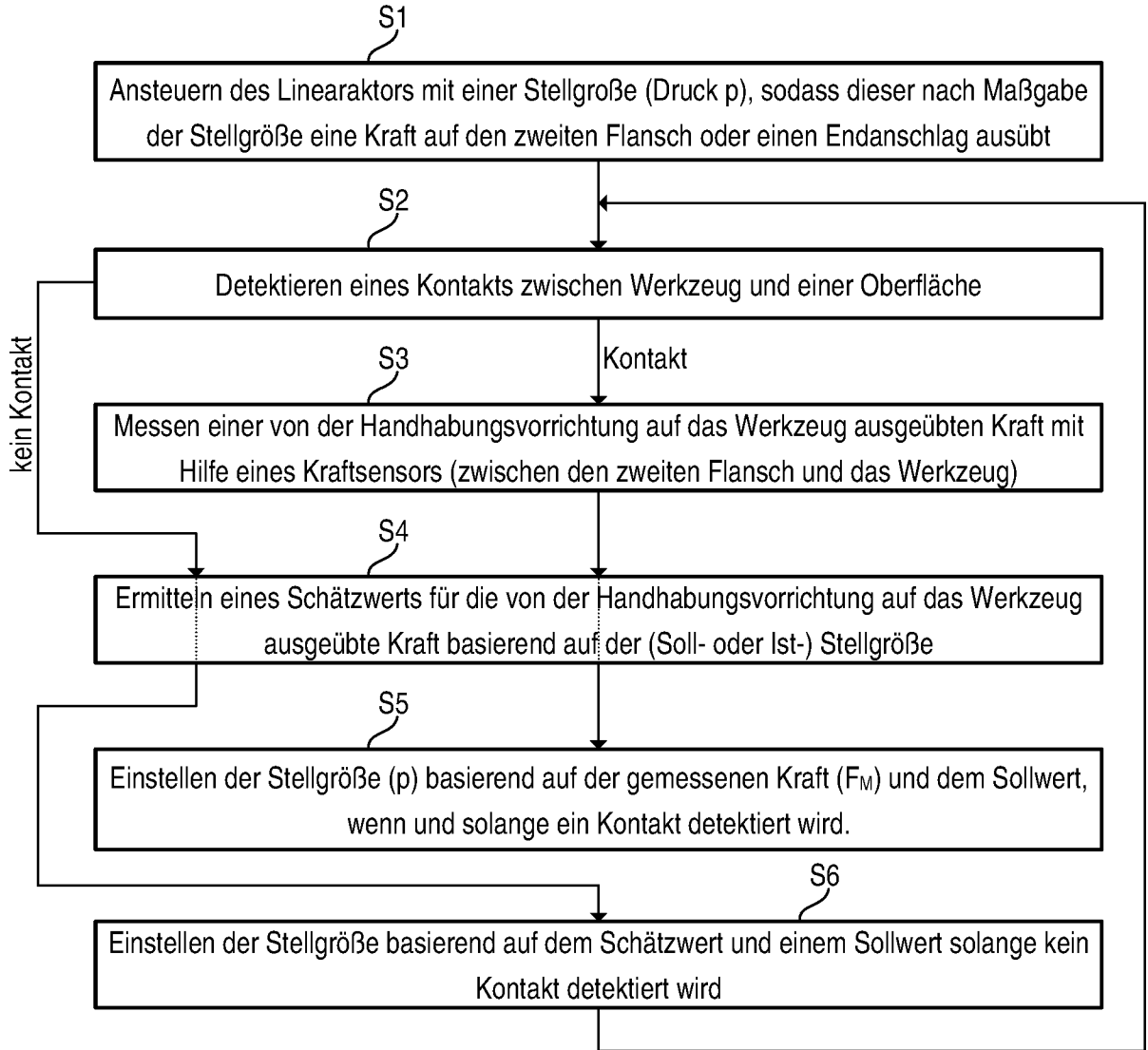


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/057458

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>B25J 9/16</i> (2006.01)i; <i>B25J 11/00</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B25J; G05B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2014005831 A1 (NADERER RONALD [AT] ET AL) 02 January 2014 (2014-01-02) abstract figures 1,2,6 paragraphs [0022] - [0066]	1-10
A	ZHANG XUDONG ET AL. "A structure and control design of constant force polishing end actuator based on polishing robot" <i>2017 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND AUTOMATION (ICIA), IEEE</i> , 18 July 2017 (2017-07-18), pages 764-768 DOI: 10.1109/ICINFA.2017.8079007 XP033233814 abstract figure 3 section II	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 30 June 2022		Date of mailing of the international search report 08 July 2022
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Hageman, Elodie Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	HIRAI J ET AL. "Fault-Tolerant Control System of Flexible Arm for Sensor Fault by Using Reaction Force Observer" <i>IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US</i> , Vol. 10, No. 4, 01 August 2005 (2005-08-01), pages 391-396 DOI: 10.1109/TMECH.2005.852442 ISSN: 1083-4435, XP011139720 abstract figure 2 sections III and V	1-10
A	DE 102015104164 A1 (FERROBOTICS COMPLIANT ROBOT TECH GMBH [AT]) 22 September 2016 (2016-09-22) abstract figure 1 paragraphs [0016] - [0026]	1-10
A	DONG YUNFEI ET AL. "Contact force detection and control for robotic polishing based on joint torque sensors" <i>THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, SPRINGER, LONDON</i> , Vol. 107, No. 5-6, 01 March 2020 (2020-03-01), pages 2745-2756, [retrieved on 2020-03-26] DOI: 10.1007/S00170-020-05162-8 ISSN: 0268-3768, XP037210836 abstract figures 1,4 sections 2 and 3	1-10
A	US 2018029228 A1 (HADDADIN SAMI [DE]) 01 February 2018 (2018-02-01) abstract figure 1 paragraphs [0015] - [0086]	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/057458

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2014005831	A1	02 January 2014	CN 103429400	A 04 December 2013
				DE 102011006679	A1 20 September 2012
				EP 2686142	A1 22 January 2014
				JP 5701410	B2 15 April 2015
				JP 2014508051	A 03 April 2014
				KR 20140026382	A 05 March 2014
				US 2014005831	A1 02 January 2014
				US 2016271797	A1 22 September 2016
				US 2018354128	A1 13 December 2018
				US 2021146535	A1 20 May 2021
WO 2012123552	A1 20 September 2012				
<hr/>					
DE	102015104164	A1	22 September 2016	DE 102015104164	A1 22 September 2016
				WO 2016145472	A1 22 September 2016
<hr/>					
US	2018029228	A1	01 February 2018	CN 107683190	A 09 February 2018
				DE 102015102642	A1 25 August 2016
				DK 3261808	T3 07 March 2022
				EP 3261808	A1 03 January 2018
				JP 6501900	B2 17 April 2019
				JP 2018506439	A 08 March 2018
				KR 20170131455	A 29 November 2017
				US 2018029228	A1 01 February 2018
				WO 2016134931	A1 01 September 2016

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. B25J9/16 B25J11/00		
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B25J G05B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2014/005831 A1 (NADERER RONALD [AT] ET AL) 2. Januar 2014 (2014-01-02) Zusammenfassung Abbildungen 1, 2, 6 Absätze [0022] - [0066] -----	1-10
A	ZHANG XUDONG ET AL: "A structure and control design of constant force polishing end actuator based on polishing robot", 2017 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND AUTOMATION (ICIA), IEEE, 18. Juli 2017 (2017-07-18), Seiten 764-768, XP033233814, DOI: 10.1109/ICINFA.2017.8079007 [gefunden am 2017-10-20] Zusammenfassung Abbildung 3 Abschnitt II ----- -/--	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absdtedatum des internationalen Recherchenberichts
30. Juni 2022		08/07/2022
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Hageman, Elodie

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>HIRAI J ET AL: "Fault-Tolerant Control System of Flexible Arm for Sensor Fault by Using Reaction Force Observer", IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, Bd. 10, Nr. 4, 1. August 2005 (2005-08-01) , Seiten 391-396, XP011139720, ISSN: 1083-4435, DOI: 10.1109/TMECH.2005.852442 Zusammenfassung Abbildung 2 Abschnitte III und V</p> <p>-----</p>	1-10
A	<p>DE 10 2015 104164 A1 (FERROBOTICS COMPLIANT ROBOT TECH GMBH [AT]) 22. September 2016 (2016-09-22) Zusammenfassung Abbildung 1 Absätze [0016] - [0026]</p> <p>-----</p>	1-10
A	<p>DONG YUNFEI ET AL: "Contact force detection and control for robotic polishing based on joint torque sensors", THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, SPRINGER, LONDON, Bd. 107, Nr. 5-6, 1. März 2020 (2020-03-01), Seiten 2745-2756, XP037210836, ISSN: 0268-3768, DOI: 10.1007/S00170-020-05162-8 [gefunden am 2020-03-26] Zusammenfassung Abbildungen 1,4 Abschnitte 2 und 3</p> <p>-----</p>	1-10
A	<p>US 2018/029228 A1 (HADDADIN SAMI [DE]) 1. Februar 2018 (2018-02-01) Zusammenfassung Abbildung 1 Absätze [0015] - [0086]</p> <p>-----</p>	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/057458

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2014005831 A1	02-01-2014	CN 103429400 A	04-12-2013
		DE 102011006679 A1	20-09-2012
		EP 2686142 A1	22-01-2014
		JP 5701410 B2	15-04-2015
		JP 2014508051 A	03-04-2014
		KR 20140026382 A	05-03-2014
		US 2014005831 A1	02-01-2014
		US 2016271797 A1	22-09-2016
		US 2018354128 A1	13-12-2018
		US 2021146535 A1	20-05-2021
		WO 2012123552 A1	20-09-2012

DE 102015104164 A1	22-09-2016	DE 102015104164 A1	22-09-2016
		WO 2016145472 A1	22-09-2016

US 2018029228 A1	01-02-2018	CN 107683190 A	09-02-2018
		DE 102015102642 A1	25-08-2016
		DK 3261808 T3	07-03-2022
		EP 3261808 A1	03-01-2018
		JP 6501900 B2	17-04-2019
		JP 2018506439 A	08-03-2018
		KR 20170131455 A	29-11-2017
		US 2018029228 A1	01-02-2018
		WO 2016134931 A1	01-09-2016
